Etienne.

ASSURANCE FORMATION DES ACTIVITES DU SPECTACLE

STAGE DE PERFECTIONNEMENT TECHNIQUE DU PERSONNEL DES LABORATOIRES CINEMATOGRAPHIQUES

PARIS

RECUEIL DES COURS

Les stages de perfectionnement technique du personnel des Laboratoires cinématographiques sont destinés à donner les bases fondamentales dans le domaine de la photo-chimie, des surfaces sensibles et des traitements noir et blanc et couleur et à décrire les opérations se déroulant dans un laboratoire de traitement cinématographique.

SOMMAIRE GENERAL

TABLE DES MATIERES

LA LUMIERE – L'ENREGISTREMENT ET LA RESTITUTION DES IMAGES COLORÉES

LA LUMIERE – L'ENREGISTREMENT ET LA RESTITUTION DES IMAGES COLOREES

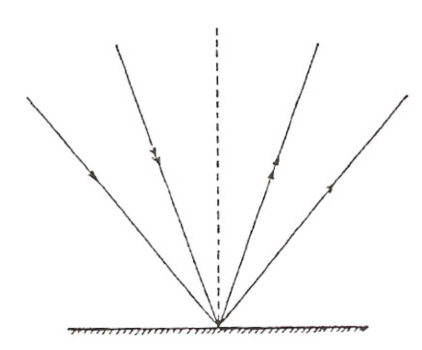
- nature, propagation, qualité, température de couleur, filtres colorés
- principales sources utilisées dans l'industrie cinématographique

LA LUMIERE

I. — THEORIE SUR LA LUMIERE

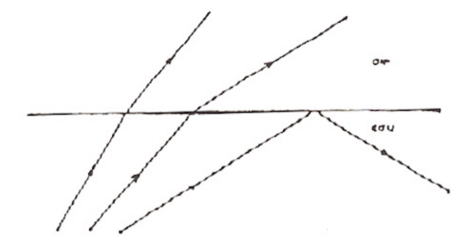
Depuis très longtemps l'homme s'est interrogé sur la nature de la lumière. Chez les grecs de l'antiquité il existait déjà deux écoles :
- l'école de Phytagore dont les bases étaient les suivantes : tout objet visible émet un flot continu de particules et l'école d'Aristote où la lumière possède un comportement ondulatoire semblable aux rides formées à la surface d'un étang calme lorsque l'on y jette une pierre. Pour identifier la nature de la lumière on a cherché à étudier ses propriétés.

Les grecs découvrirent que la lumière se propageait en ligne droite. Heron d'Alexandrie étudia les phénomènes de réflexion et découvrit que l'angle d'incidence d'un rayon lumineux frappant un miroir était égal à l'angle de reflexion (figure 1).

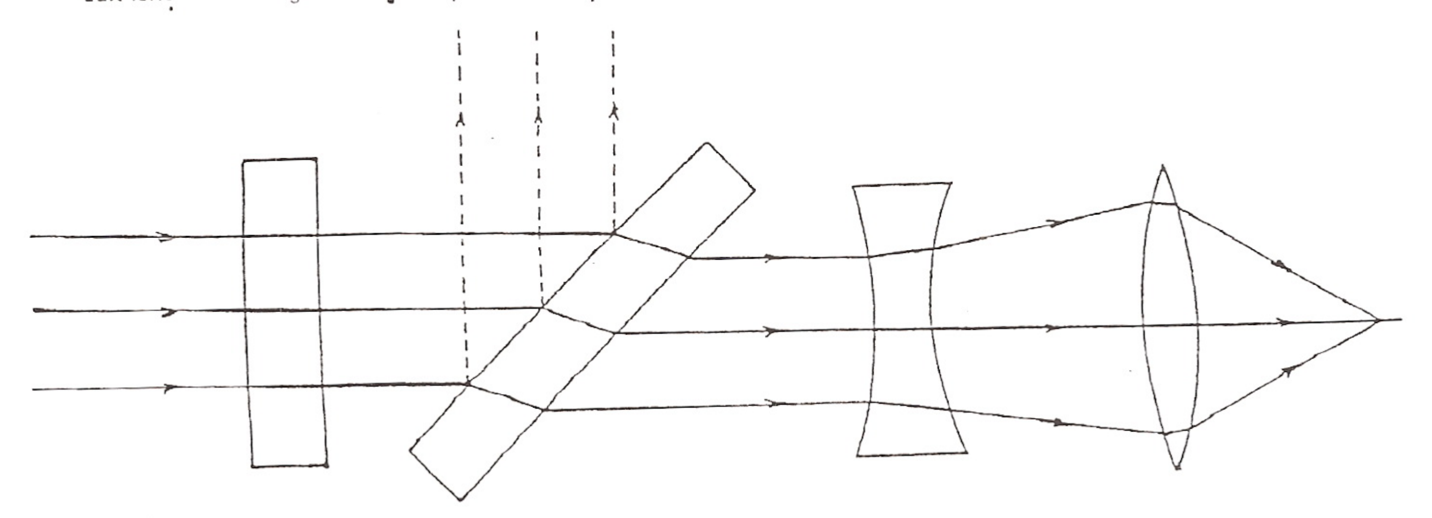


Ensuite les progrès furent très lents. En 1621, un hollandais WILLEBRORD SNELL étudia les phénomènes de réfraction. (un bâton droit enfoncé dans l'eau suivant un certain angle ne semble plus droit à l'observateur, la partie immergée semble s'incliner. Il découvrit que lorsque la lumière se propage d'un milieu à un autre, elle change sa vitesse de propagation et sa direction. Dans l'air la vitesse de la lumière est sensiblement égale à 300.000 km/s alors que dans l'eau elle est inférieure de 25%.

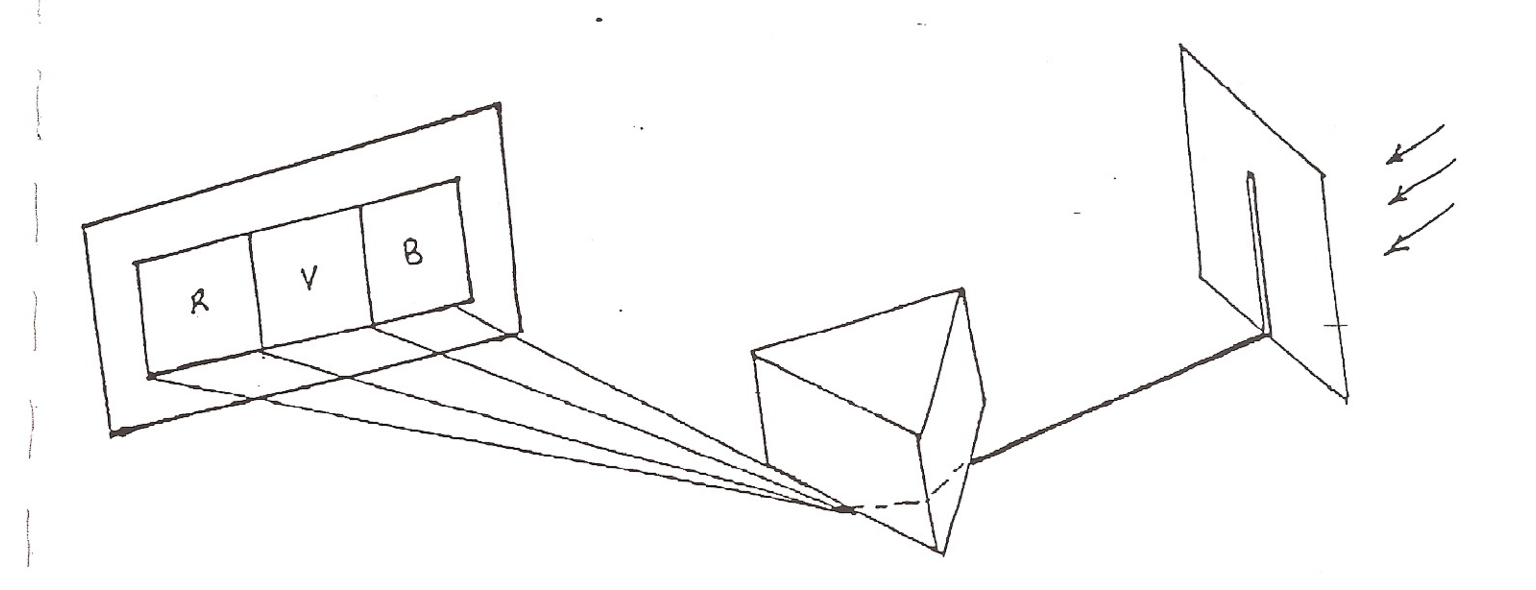
Pour que le phénomène de réfraction ait lieu, il faut que la lumière frappe le nouveau milieu selon un certain angle dont la grandeur détermine la grandeur de la déviation. A partir d'une certaine valeur de cet angle le phénomène se transforme en réflexion totale et le rayon lumineux ne peut plus passer dans le second milieu (figure 2).



En 1678 HUYGENS découvrit les formules mathématiques correspondant au phénomène de réfraction, qu'il appliqua aux lentilles convergentes (figure 3). Par ailleurs, il concevait la lumière comme un phénomène ondulatoire.



NEWTON dont la théorie présentait la lumière comme une pluie de particules émises par une source lumineuse démontra que la lumière blanche était composée de différentes couleurs, (décomposition de la lumière par un prisme) (figure 4) puis à partir du spectre des couleurs reproduisait la lumière blanche.



En plaçant une lentille convexe très mince sur un morceau de verre plat il constata les phénomènes suivants : autour du point de contact apparaissait une succession d'anneaux colorés qui ne correspondait pas au spectre habituel. Avec une source de lumière rouge il obtint une succession d'anneaux rouges et noirs, avec de la lumière bleue, une succession d'anneaux bleus et noirs, la distance entre les anneaux variant selon les couleurs. Il ne put expliquer ce phénomène connu actuellement sous le nom d'anneaux de NEWTON.

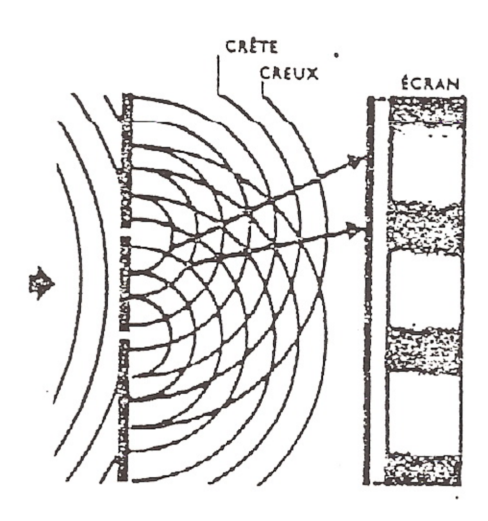
75 ans plus tard, THOMAS YOUNG partisan de la théorie ondulatoire apporta la réponse en effectuant l'expérience suivante : il dirigea un faisceau de lumière monochrome vers une surface perçée de 2 fentes (figure 5)

RENFORCEMENT

CRÊTE

SUPPRESSION

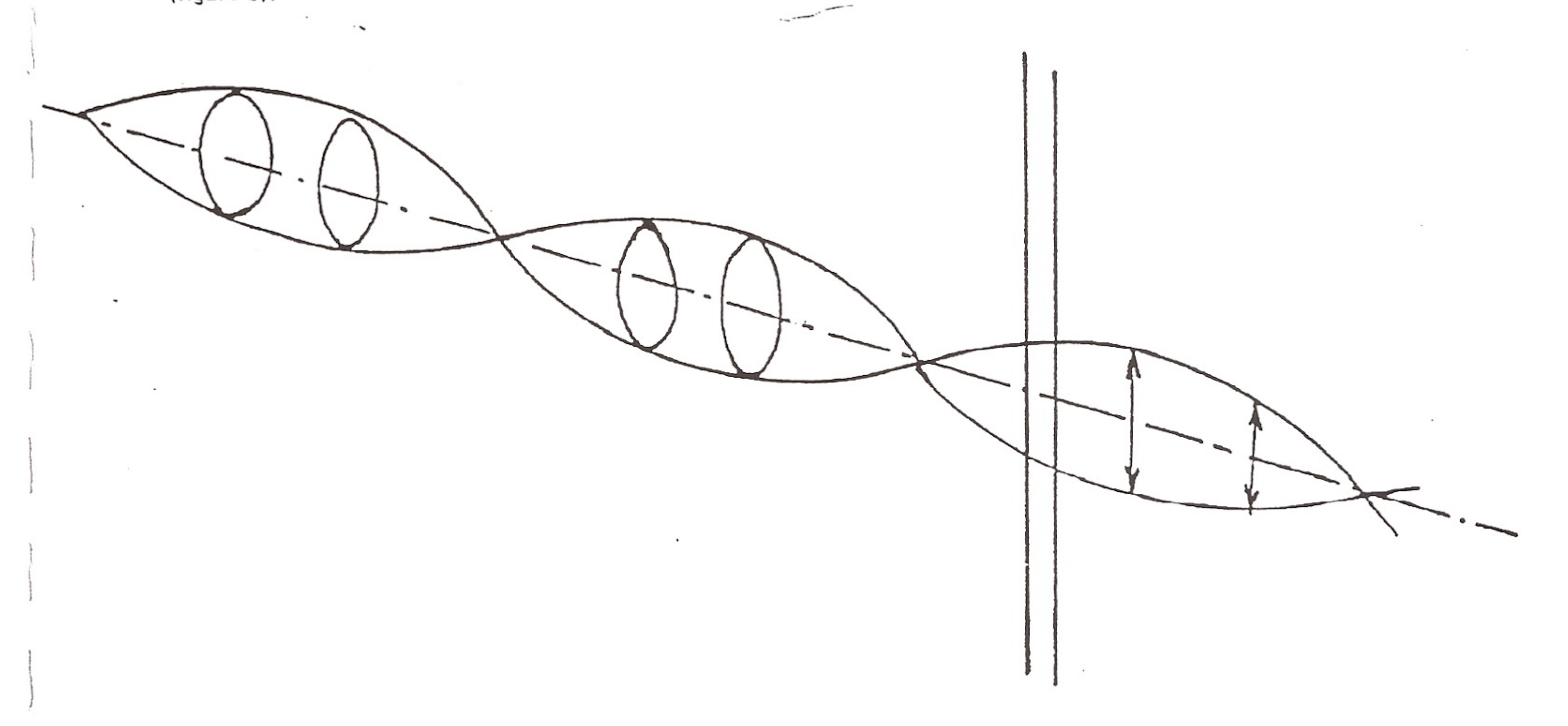
CREUX



Il put observer alors une alternance de zones de lumière et d'obscurité sur un écran plaçé derrière les 2 fentes. Ces ondes émises par les 2 orifices se combinaient de la même manière que des ondulations sur l'eau lorsque 2 ondes se rencontrent ; si les crêtes sont en phase elles se combinent pour former une onde plus grande, en opposition de phase elles s'annulent. Dans l'expérience des anneaux de NEWTON, à la limite des 2 surfaces les différentes ondes se renforçaient ou se supprimaient mutuellement.

Ce succès fut un argument important en faveur de la théorie ondulatoire.

Avec le phénomène de la polarisation MALUS apporta une nouvelle preuve en faveur de cette théorie. Une onde lumineuse vibre normalement dans les 3 dimensions, mais après être passée au travers de certaines matières transparentes, elle ne vibre plus que dans 2 directions. Ceci provient de la structure moléculaire du cristal (semblable à une persienne vénitienne munie d'un très grand nombre de lamelles avec faibles ouvertures ; l'onde lumineuse qui pénètre ne peut vibrer verticalement) (figure 6).



MAXWELL identifia ensuite la lumière comme une infinie partie de l'immense spectre continu des radiations électromagnétiques (des ondes radio de plusieurs km aux rayons gamma).

En 1900 LÉNARD découvrit l'effet photo électrique.

Une plaque de zinc exposée à un rayonnement ultra violet acquiert une charge électrique positive due à l'éjection des électrons. On ne peut expliquer ce phénomène par la théorie de l'ondulation, il faut admettre qu'une émission de corpuscules appelés photons procède à l'éjection des électrons.

En 1905 EINSTEIN applique la théorie quantique à la lumière où l'on retrouve la somme des 2 théories ondulatoire et corpusculaire.

En résumé, selon les théories actuelles, la lumière n'est que la faible portion visible du rayonnement électro magnétique et possède simultanément des caractéristiques ondulatoires et corpusculaires.

II — ETUDE DU SPECTRE DE LA LUMIERE BLANCHE

On peut étudier la répartition de l'énergie d'un rayonnement composé de radiations de fréquences différentes en plaçant sur le trajet du faisceau un analyseur dont l'effet est de dévier et de décomposer le faisceau en ses éléments constitutifs (figure 7).

Les radiations s'étalent en éventail suivant leur fréquence.

Le spectre des rayonnements visibles est facilement obtenu en envoyant sur un prisme un faisceau de lumière blanche.

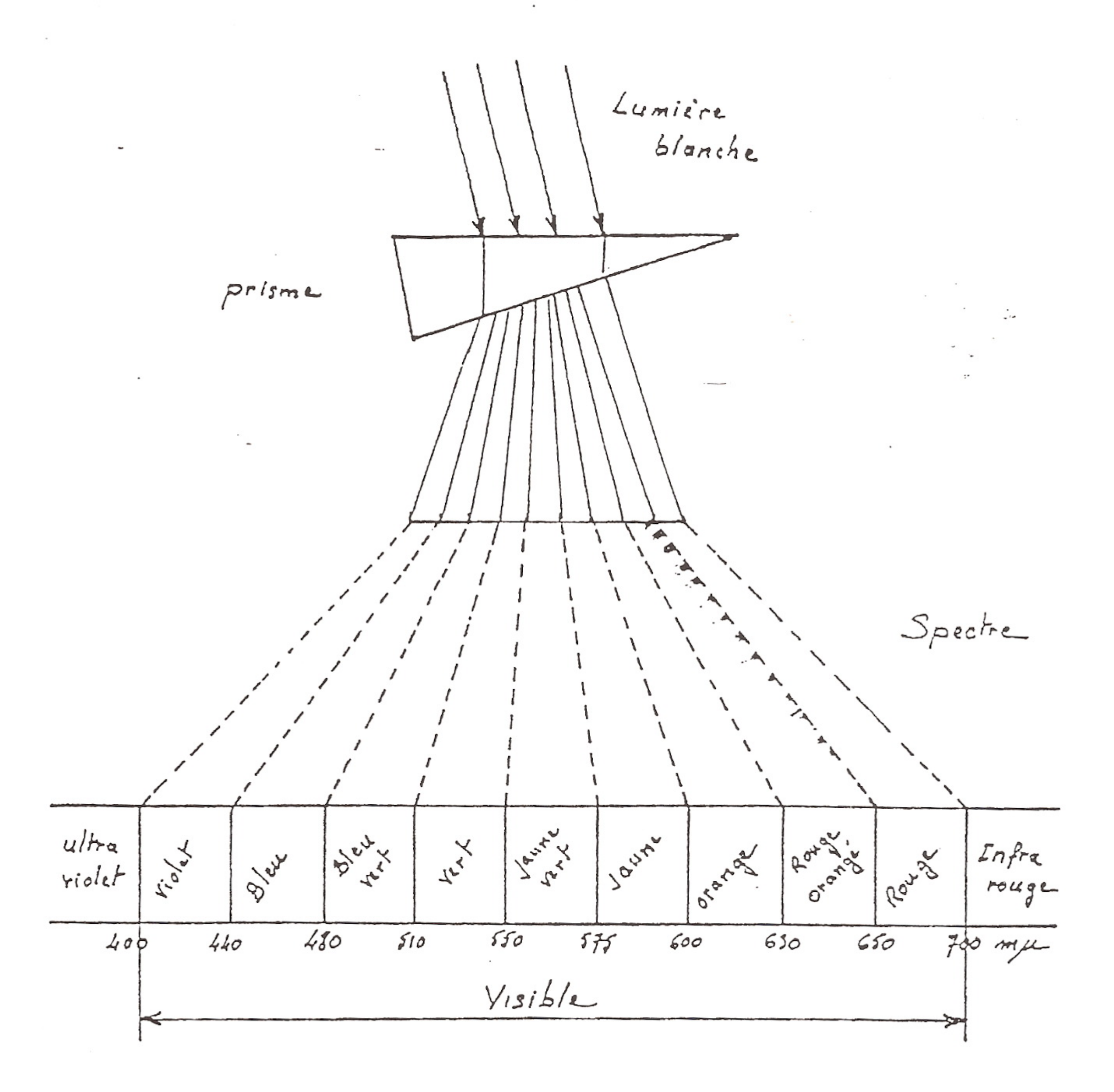
III — TEMPÉRATURE DE COULEUR

La répartition spectrale de l'énergie est variable pour une source constituée par un corps solide porté à haute température.

Température inférieure à 500° C production d'infra rouge

Température supérieure à 500° C production de rouge, puis vert, bleu.

Production d'ultra violet à partir de 1800° C.



Il convient donc, pour un flux lumineux donné, de définir la répartition spectrale de l'énergie. Comme tous les corps portés à haute température ont une courbe d'énergie de même allure, on peut donc les comparer avec un corps dont la courbe d'énergie peut être exactement définie (Etalon : corps noir)

Corps noir : Corps hypothétique, complètement absorbant, qui chauffé transforme intégralement l'énergie thermique en énergie lumineuse.
La courbe d'énergie de ce rayonnement dépend uniquement de la température.

On appelle donc " température de couleur " d'une source rayonnante la température à laquelle le corps noir doit être porté pour que son énergie de rayonnement produise la même impression de couleur que celle de la source étudiée.

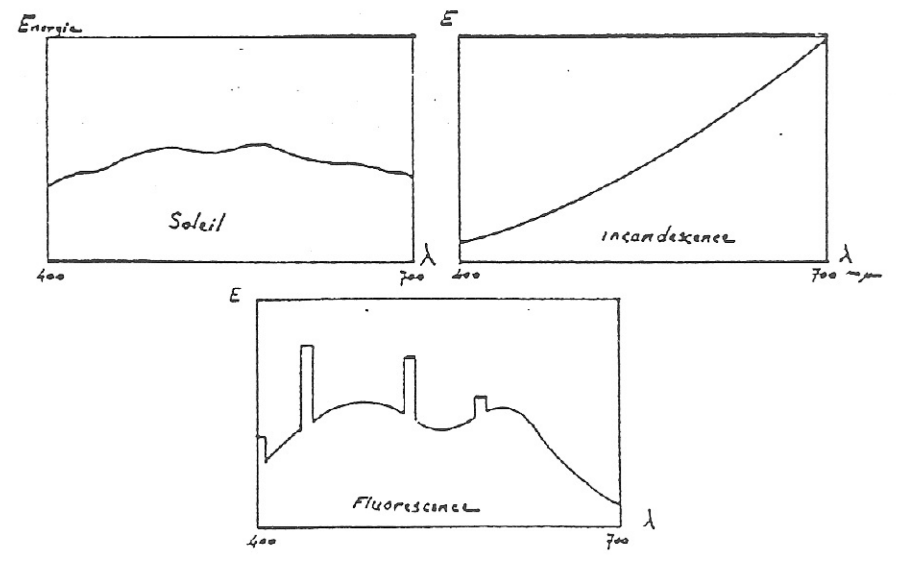
La température de couleur est mesurée à partir du zéro absolu c'est à dire 273° au dessous du zéro correspondant à la glace fondante.

La température de couleur est exprimée en °K (Kelvin)

$$T\ (^{o}K) = 273 + {}^{o}C \quad \text{(degrés Celsius)}$$

Spectre continu et spectre discontinu .

Le rayonnement émis par les gaz luminescents ne comprend qu'un nombre défini de radiations dont les longueurs d'ondes sont nettement séparées les unes des autres (spectre discontinu) alors que le rayonnement émis par un corps solide incandescent présente une suite continue de radiations (spectre·continu) – (figure 8)



IV – ELEMENTS DE PHOTOMETRIE

La photométrie a pour but l'analyse des caractéristiques des sources lumineuses et d'en mesurer les grandeurs.

Une source lumineuse est caractérisée par sa puissance ou " Flux " et son " Intensité ". Son pouvoir d'éclairer un objet est l'Eclairement qui devient pour notre oeil regardant l'objet sa luminance.

Intensité lumineuse : s'exprime en candéla (cd)

La candéla est l'intensité lumineuse, dans une direction déterminée, d'une ouverture perpendiculaire à cette direction, ayant une aire de 1/60 de centimètre carré et rayonnant comme un radiateur intégral (corps noir) à la température de solidification du platine.

Flux lumineux : s'exprime en lumen (lm)

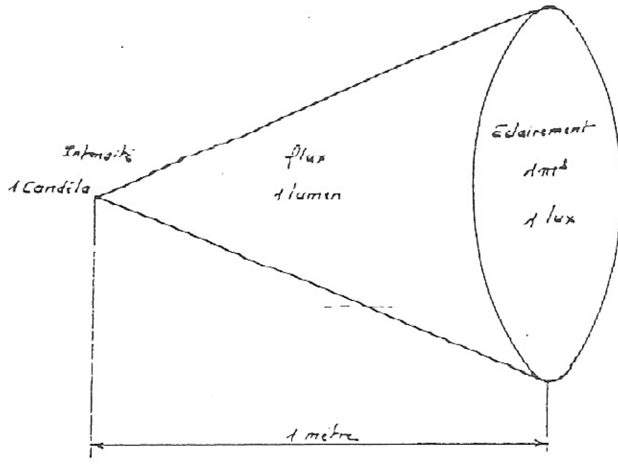
Le lumen est le flux lumineux émis dans un angle solide de I stéradian (cône de Im2 de base et de 1 m. de hauteur) par une source ponctuelle uniforme, placée au sommet de l'angle solide et ayant une intensité lumineuse de I candela.

Eclairement : La répartition du flux lumineux sur une surface conduit à l'éclairement qui s'exprime en lux (lx).

Le lux est l'éclairement d'une surface qui reçoit normalement, d'une manière uniformément répartie, un flux lumineux de 1 lumen par mètre carré.

Luminance : ou brillance d'un objet éclairé.

Cette grandeur est perçue par l'oeil alors que les précédentes ne le sont pas. S'exprime en candéla par mètre carré (cd/m2). – (figure 9).



/ — LES FILTRES COLORES

Un filtre est un milieu dont la " transparence " varie dans de grandes limites avec la longueur d'onde. La lumière transmise de l'autre côté d'un filtre n'a donc plus la même composition spectrale que la lumière incidente et il en résulte une sensation de couleur pour notre oeil.

La lumière blanche étant composée des 3 couleurs primaires : bleu, vert, rouge, on obtient la couleur rouge en plaçant devant le faisceau un filtre qui absorbe les radiations bleues et vertes tout en se laissant traverser par les radiations rouges.

Le bleu s'obtient par soustraction des ondes du vert et du rouge de la lumière blanche. On obtient du vert quand on soustrait du bleu et du rouge de la lumière blanche.

Le bleu rouge ou magenta, vient de la soustraction des seules ondes vertes. Le bleu vert ou cyan vient de la soustraction des seules ondes rouges. Le jaune vient de la soustraction des ondes bleues, ce qui ne laisse que le rouge et le vert.

Un filtre jaune plus un filtre cyan arrêtent le bleu et le rouge et laissent passer le vert. Un filtre jaune plus un filtre magenta arrêtent le bleu et le vert et laissent passer le rouge. Une combinaison de filtres jaune, magenta et cyan, absorbe toutes les longueurs d'ondes et par conséquent donne du noir.

VI — LES SOURCES DE LUMIERE

A — La lampe à arc à charbons

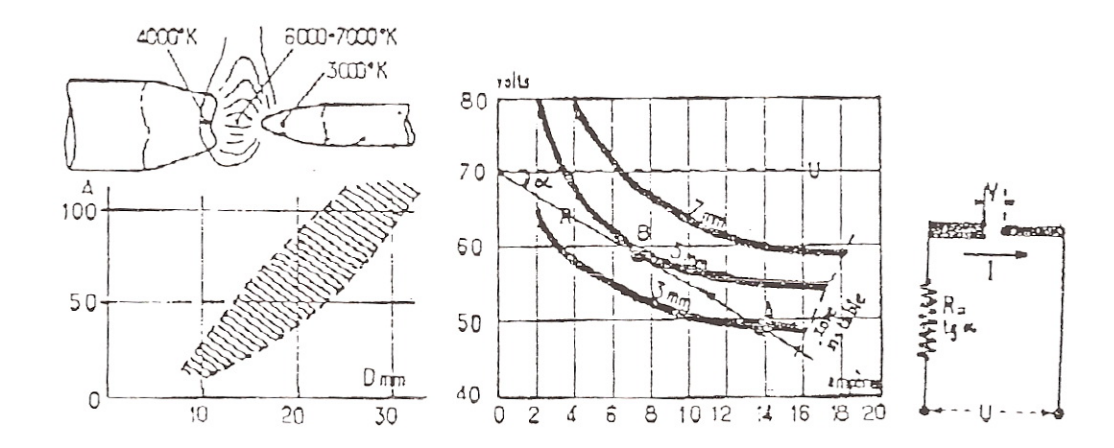
L'arc électrique consiste en une décharge entretenue entre 2 bâtons de charbon, écartés de quelques mm, auxquels est appliquée une différence de potentiel, de type continu ou alternatif. Dans l'utilisation cinématographique de l'arc à charbons pour les prises de vues ou la projection on n'utilise plus maintenant que l'arc à courant continu afin d'éliminer les problèmes de " pompage " dus aux interférences entre la cadence de 24 im/s et les 50 périodes du courant secteur.

Dans l'arc à courant continu les électrons issus du charbon négatif (usure en pointe) viennent bombarder le charbon positif (usure en cratère). Le charbon positif s'usant environ 2 fois plus rapidement que le négatif on utilise pour ce dernier un diamètre inférieur (rapport 1/1,4). Le cratère du charbon positif constitue la source principale de lumière (85 %) et présente une température de couleur de 4000° K, alors que la décharge elle-même est à 7000° K et la pointe du charbon négatif à 3000° K.

Arc à charbons homogènes

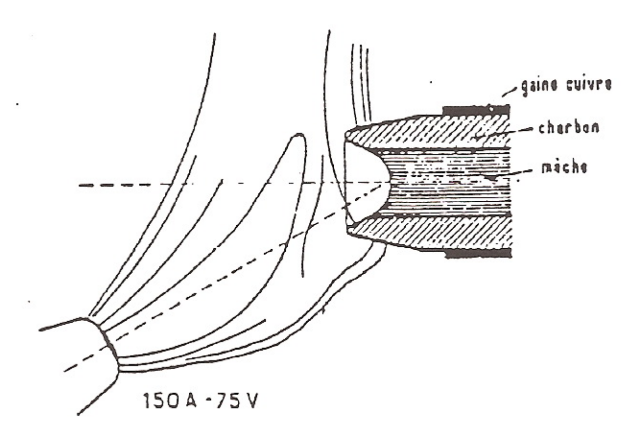
On utilise des charbons constitués de noir de fumée, de graphite en poudre et de goudron, comprimés et cuits dans des fours à 1000° C et recouverts par galvanoplastie d'une couche de cuivre.

Avec ce type de charbon on obtient une luminance du cratère de l'ordre de 2 Cd/m2 avec un rendement lumineux de 15 à 25 lumen/watt. La tension de fonctionnement se situe aux environs de 50 V. avec une caractéristique V/1 à courbure négative ; la tension aux bornes de l'arc diminue quand l'intensité croit et cette diminution provoque une nouvelle augmentation de l'intensité, ce qui nécessite l'utilisation d'une résistance placée en série dans le circuit (rhéostat d'arc) afin d'assurer la stabilisation (figure 10).



Arc à haute intensité

On utilise des charbons à mèche constitués d'un bâtonnet tubulaire de charbon dans l'axe duquel est introduit une mèche fabriquée à partir de sels minéraux (acide silicique ou fluorure de calcium). La lumière émise ne provient plus seulement de l'incandescence du cratère, mais du rayonnement des gaz dégagés par les sels de la mèche. La caractéristique électrique V/1 devient alors soit horizontale soit positive selon l'intensité de fonctionnement, ce qui conduit à des conditions de stabilisation obtenue avec une faible valeur de rhéostat d'arc. Les luminances obtenues sont alors de 5 à 12 cd/m2 avec un rendement de 70 1m/W. Un fonctionnement optimal est obtenu en inclinant le charbon négatif afin de dégager le cratère et en imprimant au charbon positif un mouvement de rotation sur son axe. (figure 11).



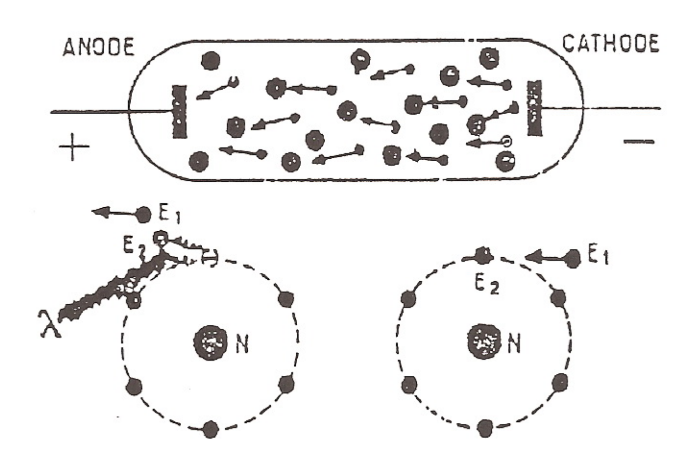
L'arc électrique constituant un élément électriquement conducteur, il est sensible à l'action de déplacement lorsqu'il se trouve dans un champ magnétique. On utilise donc sous le nom de " soufflage magnétique " un champ créé perpendiculairement à l'arc (par un aimant ou un électro-aimant) qui produit une action de déplacement de la flamme de l'arc vers le haut, ce qui dégage le cratère et soustrait l'arc aux influences des champs magnétiques parasites.

B — Les lampes à décharge

Une décharge électrique dans un gaz est obtenue en appliquant une tension entre 2 électrodes placées dans un tube de verre rempli avec un gaz. La décharge obtenue est luminescente et la couleur de la lumière émise ne dépend que de la nature du gaz remplissant le tube.

Rouge pour le néon, paille pour l'azote, jaune pour le sodium etc...

Principe de fonctionnement : Un gaz est constitué par une infinité d'atomes ; chaque atome comportant un noyau autour duquel gravitent des électrons périphériques (figure 12).



Comme il existe une tension appliquée entre les 2 électrodes un certain nombre d'électrons quittent la cathode (négative) pour aller sur l'anode (positive) placée à l'autre extrémité. Pendant ce trajet le flux électronique arrache au passage des électrons périphériques aux atomes gazeux ; ces atomes sont alors excités, mais sont dans un état très instable. Les électrons des atomes de gaz reviennent alors aussitôt à leur place en émettant une radiation lumineuse (photon) dont la longueur d'onde, c'est-à-dire la couleur, dépend de la nature du gaz. Ces radiations correspondent à des longueurs d'ondes bien déterminées formant un spectre discontinu.

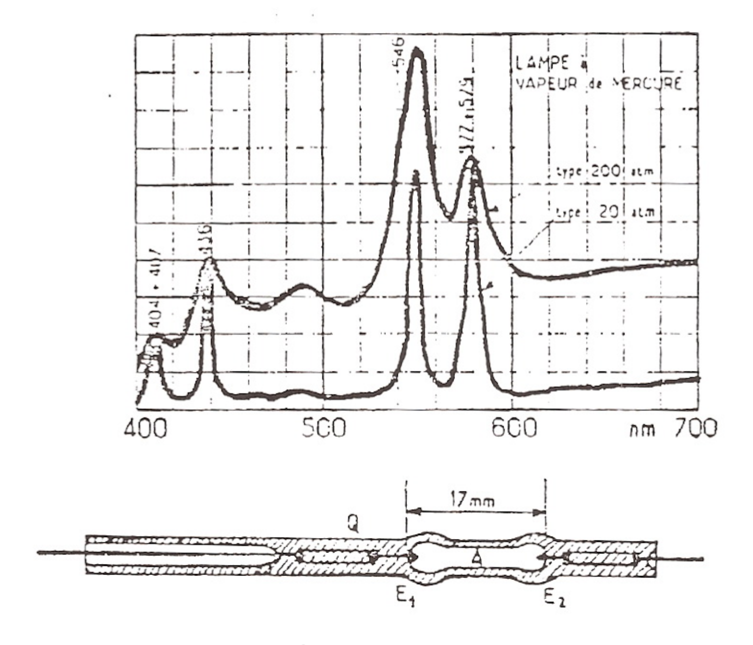
Avec un remplissage gazeux à faible pression on obtient les tubes luminescents utilisés pour les enseignes lumineuses et possédant des rendements de l'ordre de 10 lm/W.

a) Lampes à vapeur de mercure haute pression

On utilise une enveloppe de quartz, généralement refroidie par circulation d'eau, la pression de vapeur pouvant atteindre 100 atmosphères. Les électrodes au tungstène sont rapprochées et le mode de décharge prend la forme d'un régime d'arc.

La lumière n'est émise que sur quatre raies du spectre : violette, bleue, verte et jaune plus un très faible fond continu et ne peut donc convenir pour les utilisations cinématographiques. Comme l'intensité du fond continu augmente avec la densité de courant qui traverse la lampe, mais que l'on se trouve très vite limité par l'échauffement du tube, on ne réalise des densités de courant élevées que pendant des temps très courts (2 à 3 ms) au moyen d'impulsions de tension, ce qui conduit à un spectre présentant une énergie plus importante dans le rouge (figure 13).

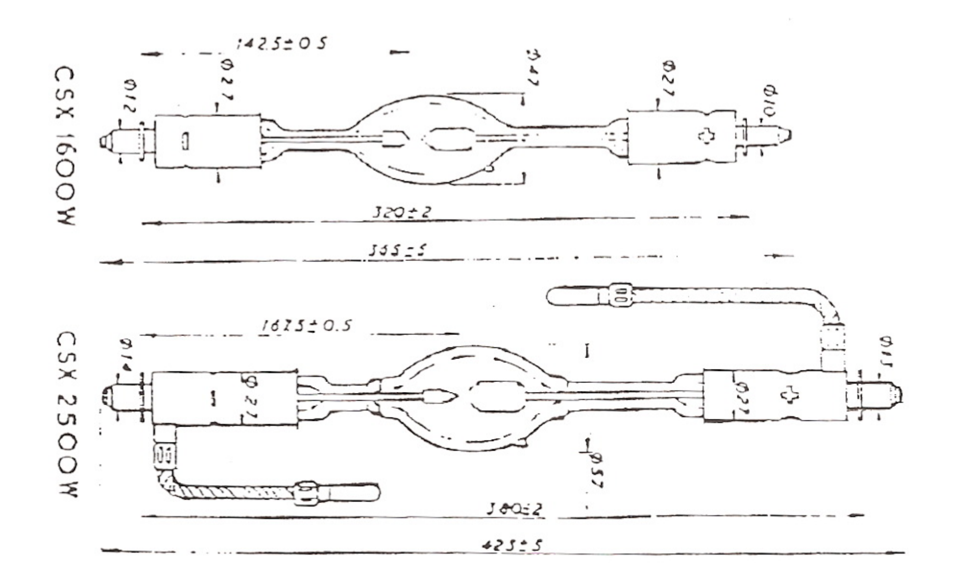
Une lampe de ce type a été utilisée en projection avec un excellent rendement grâce à la suppression de l'obturateur mais le spectre émis manquait de rayonnement rouge ce qui affectait les images projetées d'une dominante cyan.

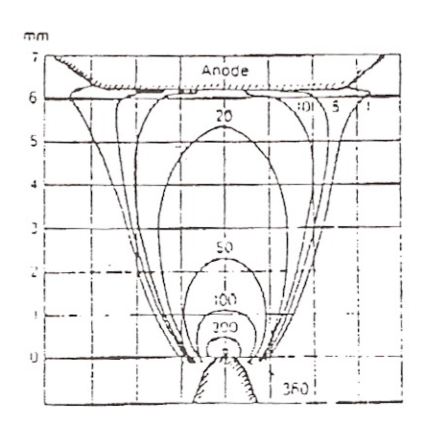


b) Lampes à Xénon

Ce type de lampe, très utilisé actuellement pour la projection, est constitué d'une enveloppe en quartz de forme ellipsoïdale, remplie de xénon avec une pression de 8 athmosphères à froid (x3 à chaud) et comportant 2 électrodes de tungstène distantes de quelques mm.

L'alimentation électrique est effectuée en courant continu et l'amorçage de l'arc se fait après une impulsion haute tension. (figure 14).



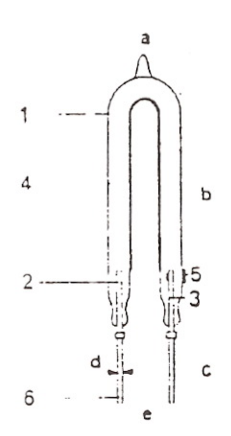


Le spectre obtenu est assez régulier, indépendant de la durée de vie, et présente une température de couleur de l'ordre de 6000°K avec un rendement de 35 à 50 lm/W. Ce type de lampe existe dans différentes puissances ; de 75 à 6500 W.

Par exemple : pour 1600 W : 65 A, 25 V, 4 mm de longueur d'arc, 60000 lm et une durée de vie de 2000 h.

L'utilisation normale de ce type de lampe est en position verticale et conduit de par la forme des électrodes à utiliser un contre miroir afin de retourner l'image triangulaire de l'arc pour éclairer plus uniformément la fenêtre de projection. Toutefois ce type de lampe peut avec succès être utilisé horizontalement, ce qui conduit à un gain de flux lumineux utile d'environ 20 %, en employant un champ magnétique de stabilisation de l'arc analogue au soufflage magnétique des arcs à charbons.

Un autre type de lampe à Xénon est constitué par des lampes à éclats des stroboscopes et les flashes électroniques dont la caractéristique est d'émettre des éclats extrêmement brefs et de très grande intensité lumineuse (figure 15).



1 - Tube en forme d'U rempli de xénon
2 - Anode
3 - Cathode
4 - Électrode d'amorçage
5 - Point de repère de la cathode
6 - Sorties d'électrodes en nickel

Ces lampes sont essentiellement constituées d'un tube en forme d'U rempli de Xénon aux extrêmités duquel sont placées une anode et une cathode et d'une électrode d'amorçage formée par une métallisation sur la surface extérieure du tube.

c) Lampes à iodures métalliques

Afin de pouvoir utiliser les lampes à vapeur de mercure on a cherché à adjoindre à leur spectre des raies d'éléments émettant principalement dans le rouge (Cadmium, Zinc, Thallium).

Ces essais n'ont pratiquement pas abouti du fait des incompatibilités des vaporisations entre le mercure et les éléments ajoutés.

En incorporant les éléments sous forme d'halogénures et principalement d'iodures cette incompatibilité disparaît.

L'emploi de certains iodures de métaux tels que thallium, sodium, produit une température de couleur de 5000° K avec un rendement lumineux de 100 lm/W. En remplaçant le sodium par des terres rares (dysprosium, scandium) on obtient des températures pouvant atteindre 10000°K avec rendement de 75 lm/W. Ce type de lampe fonctionne sur le secteur alternatif (avec l'aide d'un transformateur nécessaire à l'amorçage). Il existe des lampes à arc long (15 à 20 cm entre les 2 électrodes) devant fonctionner horizontalement, constituées d'une enveloppe tubulaire en quartz ou de 2 enveloppes séparées par un gaz neutre. Dans ce cas la durée de vie est largement augmentée, les échanges de température étant plus progressifs. On trouve également des lampes à iodures métalliques à arc (figure 16) présentant des encombrements moindres.

Ces types de lampe, du fait de leur très bon rendement sont utilisés à la prise de vues, toutefois leur fonctionnement en courant alternatif 50 Hz nécessite de tourner à 25 im/s afin d'éviter le phénomène de scintillement. L'emploi de groupes électrogènes ayant une fréquence de 400 Hz permet de tourner normalement à 24 im/s.

Un modèle de lampe à iodures métalliques fonctionnant en courant continu est actuellement utilisé pour la projection en 16 mm (Général Electric Marc 300). Cette lampe à miroir incorporé produit une décharge concentrée sur quelques mm, la cathode étant constituée par une boule de tungstène à la limite de la fusion. Sa température de couleur est de l'ordre de 5000° K mais sa durée de vie est faible 25 à 30 heures (figure 17).

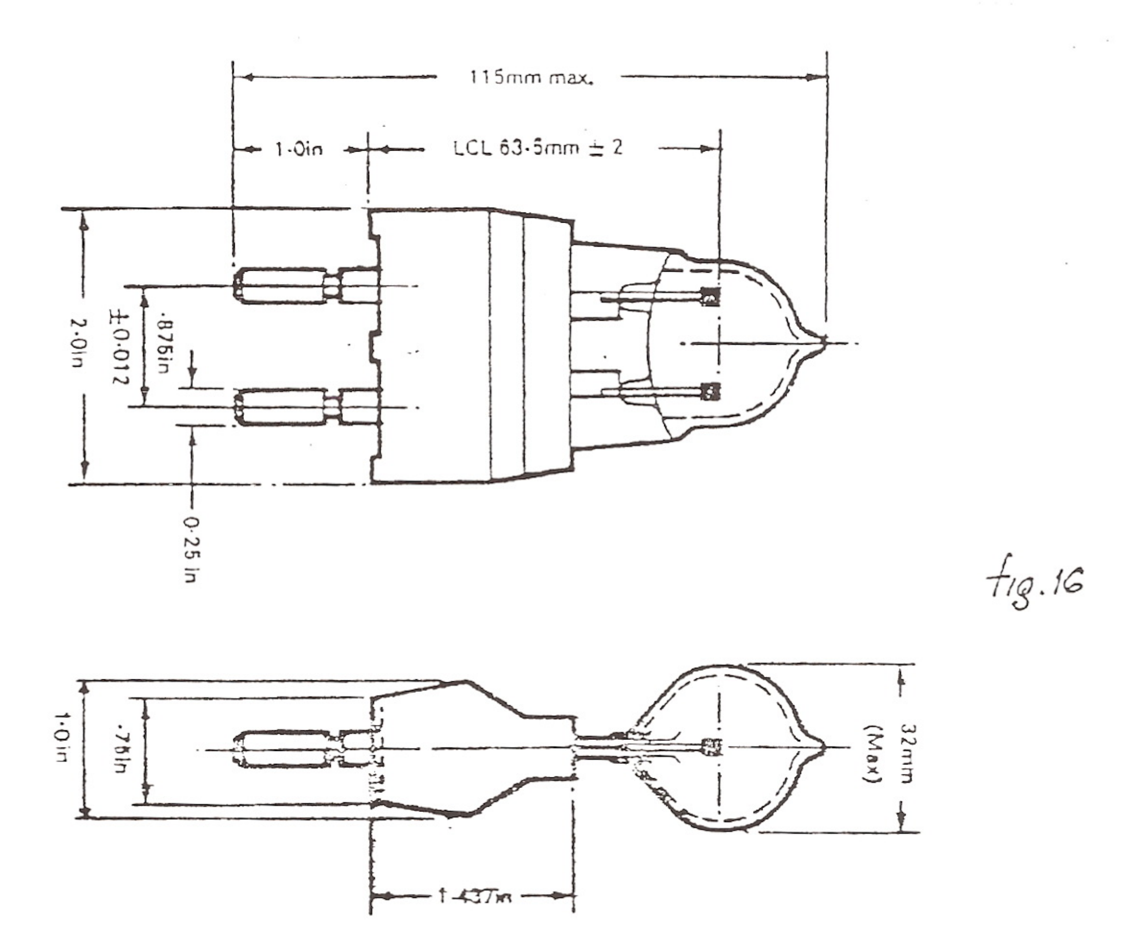


fig.16

Il convient de remarquer que pour l'ensemble de ces types de lampe à iodures il faut respecter une durée de 3 à 5 mn entre l'arrêt de la lampe et le nouveau réamorçage.

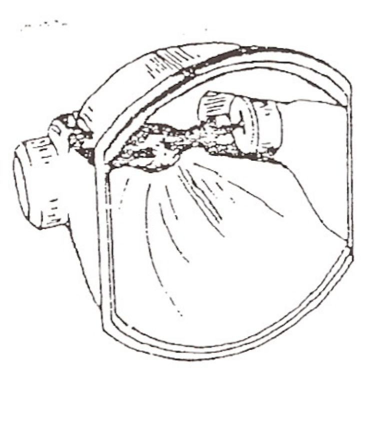
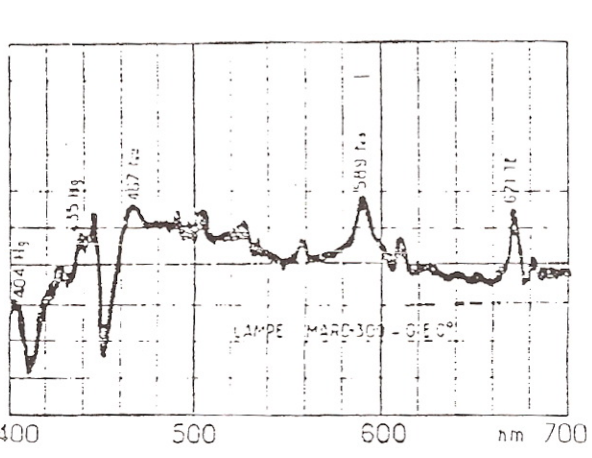


fig.17



d) Tubes fluorescents

Une source de rayonnement ultra violet (vapeur de mercure sous très faible pression) analogue aux sources de " lumière noire " utilisées dans les théâtres et qui excitent certains corps placés à proximité (celluloïd, plastique, dents, etc...) est créée dans un tube enduit intérieurement d'un mélange de tungstate de magnésium, de borate de cadmium et de silicate de zinc et de manganèse. Ces différents éléments excités par le rayonnement UV présentent une émission dans le bleu, le vert et le rouge et en fonction du dosage produisent par trichromie une lumière blanche. Le rendement obtenu est de l'ordre de 40 à 50 lm/W.

e) Lampes à incandescence

Les lampes à incandescence mettent en oeuvre le phénomène d'émission par les corps portés à haute température.

Elles sont constituées d'une enveloppe en verre ou en quartz, à l'intérieur de laquelle on a fait le vide, et d'un filament de tungstène porté à incandescence lorsqu'il est traversé par un courant électrique.

Ce filament présente une température de fusion de l'ordre de 3650° K et il existe une relation entre la température du filament, le rendement lumineux et la durée de vie.

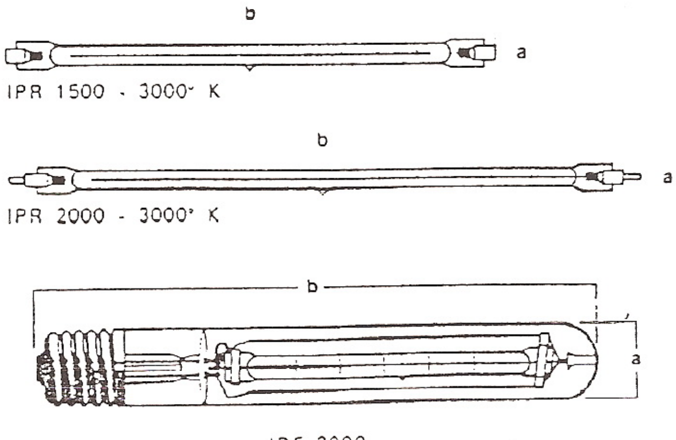
Température	Rendement	Durée de vie
2500° K	12 lm/W	1000 h
2900° K	20 lm/W	100 h
3200° K	32 lm/W	4 h

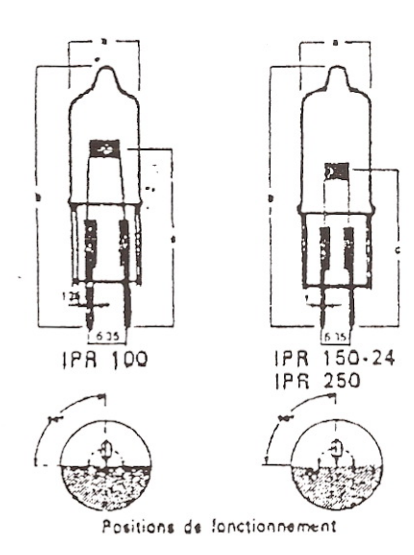
Une lampe possédant une température de couleur de 3200° K (utilisation la plus courante en prise de vues lumière artificielle) comporte un filament à température très élevée si bien que du tungstène s'évapore constamment de sa surface et va se déposer sur l'enveloppe qui noircit rapidement. Les lampes de studio possèdent donc de grosses enveloppes afin de réduire le noircissement et l'échauffement. Ce type de lampe existe jusqu'à des puissances de 20 kW.

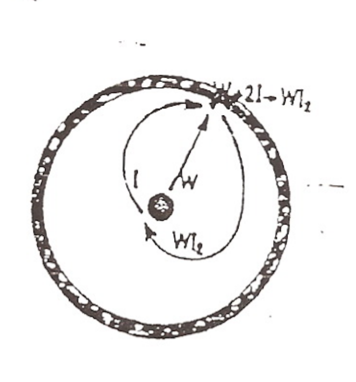
Une amélioration des conditions de fonctionnement peut être obtenue en remplissant l'ampoule avec un gaz rare inerte (argon ou krypton) et par adoption d'un filament spiralé ; la vitesse d'évaporation est ainsi nettement diminuée et le noircissement correspondant de l'ampoule moins rapide. Il existe des modèles de lampes à incandescence qui se connectent directement sur le secteur 110 ou 220 V (généralement prises de vues) et des modèles de lampes type basse tension utilisables en 6, 12 ou 24 V par l'intermédiaire d'un transformateur. Ce 2ème type de lampe présente un filament plus robuste, de dimension réduite se rapprochant davantage d'une source ponctuelle permettant une meilleure utilisation des systèmes optiques associés (miroirs, condensateurs, etc...) ainsi qu'un rendement lumineux plus élevé et une durée de vie plus grande.

LAMPES A CYCLE D'IODE

Une amélioration considérable du fonctionnement des lampes à incandescence est obtenue en remplissant l'enveloppe, (dans ce cas en quartz pour mieux résister à l'élévation de la température) avec de l'iode gazeux (0,1 mg/cm3). Il se produit dans la lampe un cycle dans lequel l'iode se combine au tungstène évaporé du filament à la température de l'intérieur de l'ampoule (600° C) pour former de l'iodure de tungstène qui se dissocie ensuite en iode et en tungstène à la température élevée du filament (3000° C). De cette manière le noircissement de l'ampoule est évité et le filament constamment régénéré, le rendement lumineux obtenu étant de 30 lm/W (figure 18).







Ce type de lampe est très utilisé en basse tension (6 à 24 V 50 W à 250 W) pour les projecteurs cinématographiques de format réduit. Pour les prises de vues, il existe des lampes à 3200 ou 3400° K basse tension pour utilisation sur batterie ou pour emploi sur secteur 110 ou 220 V. Les puissances maximales actuellement disponibles en version secteur sont de 10 kW pour des lampes de forme tubulaire.

Les lampes à cycle d'iode présentent les avantages suivants par rapport aux lampes à incandescence classiques :

- dimensions réduites
- Flux lumineux constant
- Température de couleur constante
- Durée de vie accrue.

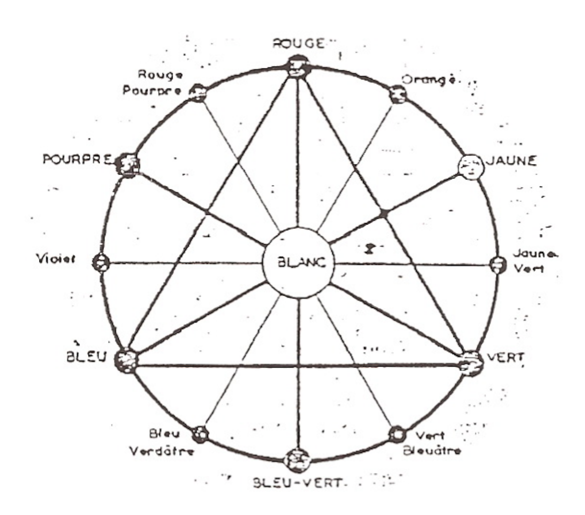
ENREGISTREMENT ET RESTITUTION DES IMAGES COLORÉES

Les procédés de reproduction des couleurs actuellement utilisés sont des procédés trichromes.

I – BASES DE LA TRICHROMIE

a) Cercle chromatique (figure 19)

En étudiant les phénomènes de mélange à partir de trois couleurs données du spectre, on constate que pour des couleurs convenablement choisies il est possible de restituer n'importe quelle teinte par des mélanges en proportions voulues.



b) Triangle des couleurs

Triangle équilatéral dont tout point intérieur peut définir géométriquement un mélange de 3 couleurs fondamentales en fonction de ses distances aux sommets rouge, vert, bleu.

Longueurs d'ondes de référence :	Rouge	700 nm
	Vert	546 nm
	Bleu	436 nm

Un mélange en quantité convenable de ces lumières permet de recomposer pour l'oeil une lumière donnée.

$$\alpha \text{ Rouge} + \beta \text{ Vert} + \gamma \text{ Bleu}$$

α, β, γ sont les composantes trichromatiques.

La réduction des couleurs se fait en 2 temps.

<u>1er temps</u> : sélection trichrome (analyse)

Le rayonnement émis par le sujet à enregistrer est séparé en 3 parties : Bleu, Vert, Rouge.

<u>2ème temps</u> : synthèse ou restitution

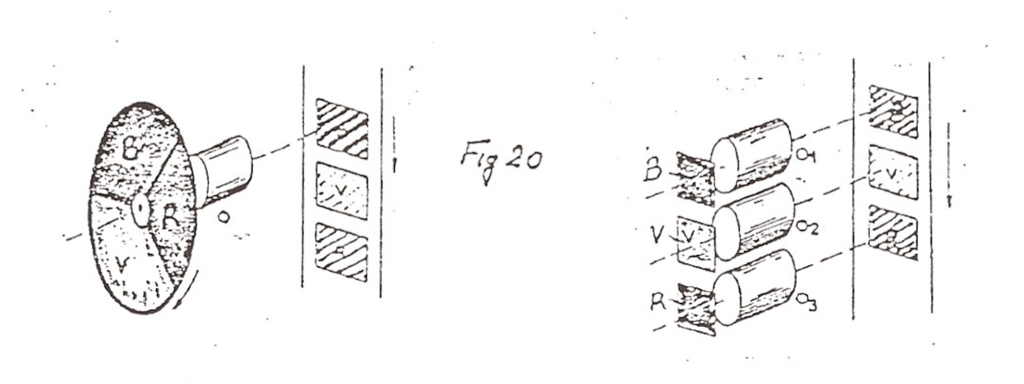
Consiste à restituer les quantités relatives des 3 lumières primaires.

II – ANALYSE TRICHROME

a) Analyse par filtres (figure 20)

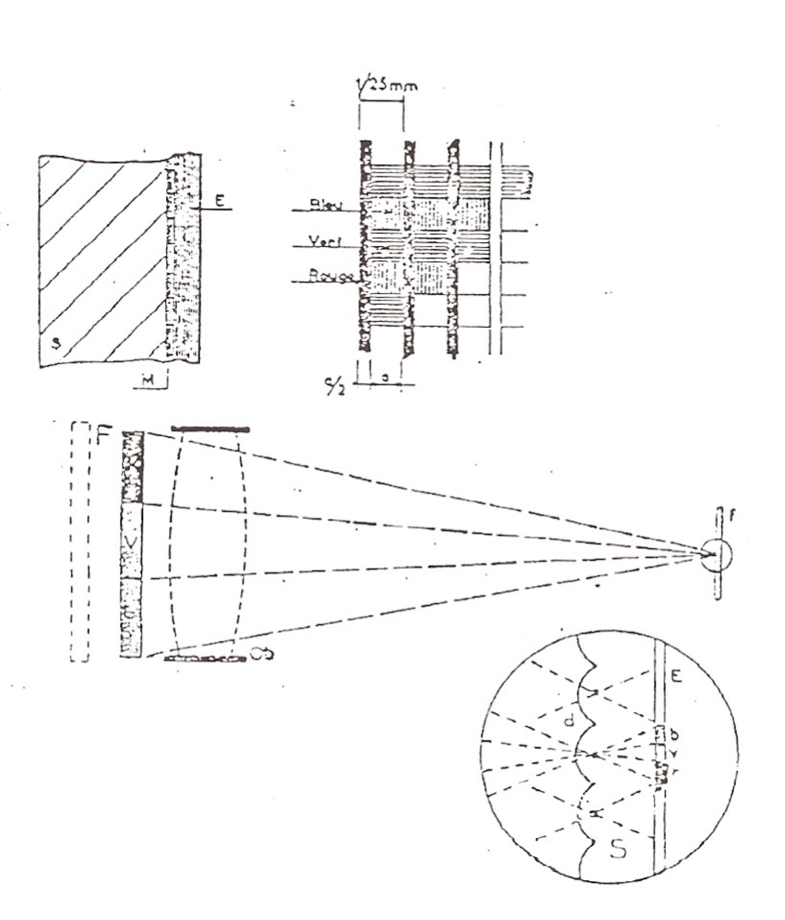
On enregistre 3 images au travers de 3 filtres (R.V.B.) sur une émulsion noir et blanc.

Ces 3 images peuvent être enregistrées successivement ou simultanément.



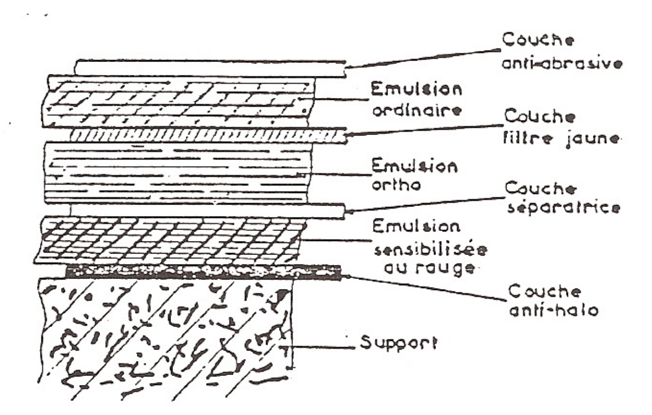
b) Sélection intégrale (figure 21)

L'analyse trichrome est effectuée sur une image unique décomposée en plages bleues, vertes, rouges microscopiques au moyen d'une mosaïque de petits filtres ou d'un gaufrage.



c) Analyse par émulsions (figure 22)

On superpose sur un même support 3 couches d'émulsions sensibles respectivement au bleu au vert et au rouge.



III — RESTITUTION DES COULEURS : 2 procédés peuvent être utilisés :

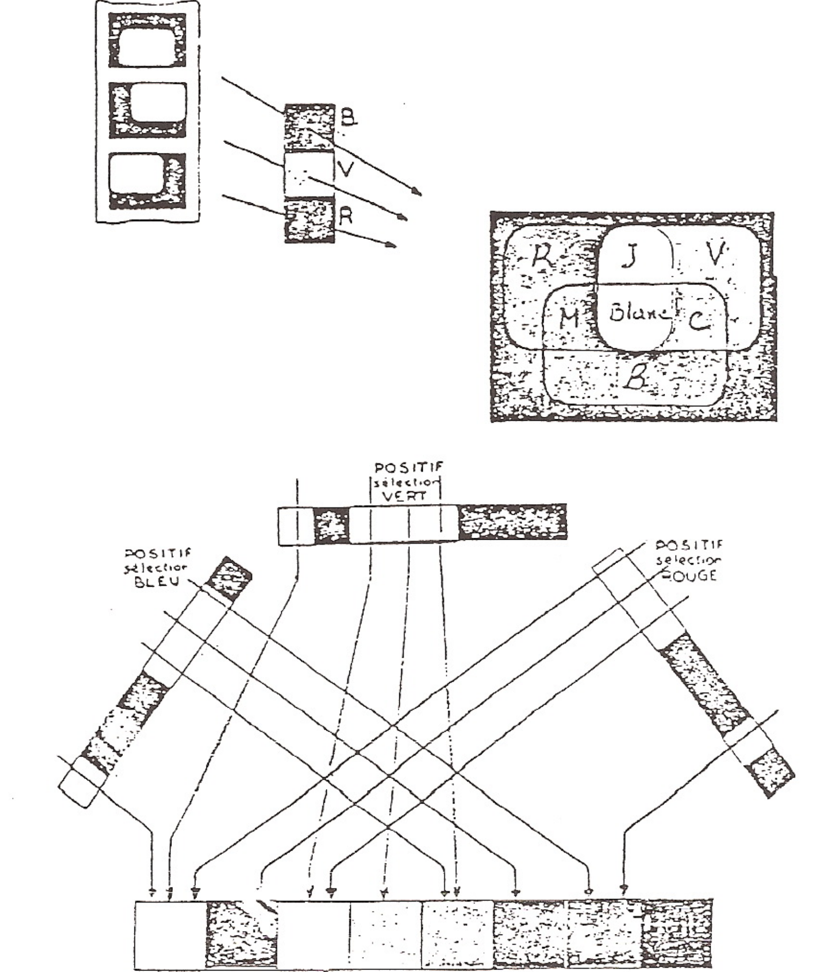
— Synthèse additive (figure 23)

Les 3 clichés négatifs noir et blanc de sélection sont tirés en positif et projetés en superposition sur un écran au moyen de 3 projecteurs possédant des sources de lumière colorée correspondant respectivement aux 3 filtres de sélection.

La restitution d'un blanc est difficile à obtenir car le moindre déséquilibre dans la somme R + V + B provoque une dominante colorée.

Les 3 images peuvent être superposées, ou projetées successivement (persistance rétinienne) ou encore juxtaposées par points.

Cette dernière disposition est utilisée dans la télévision couleur.

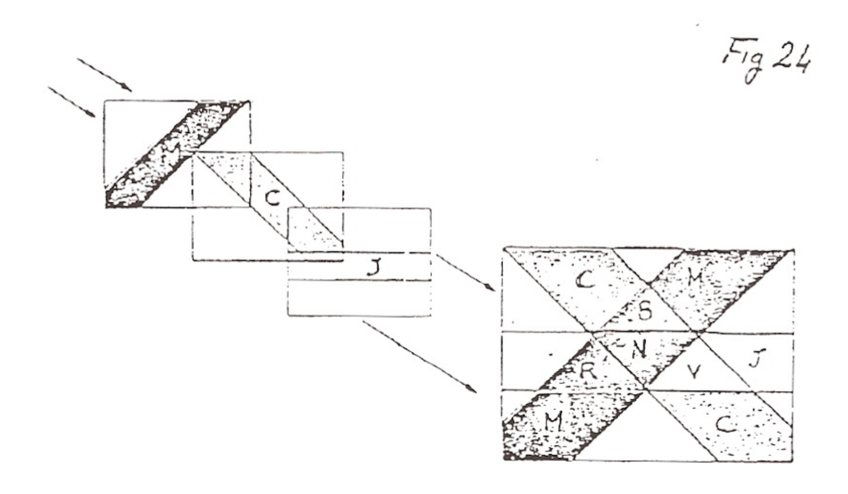


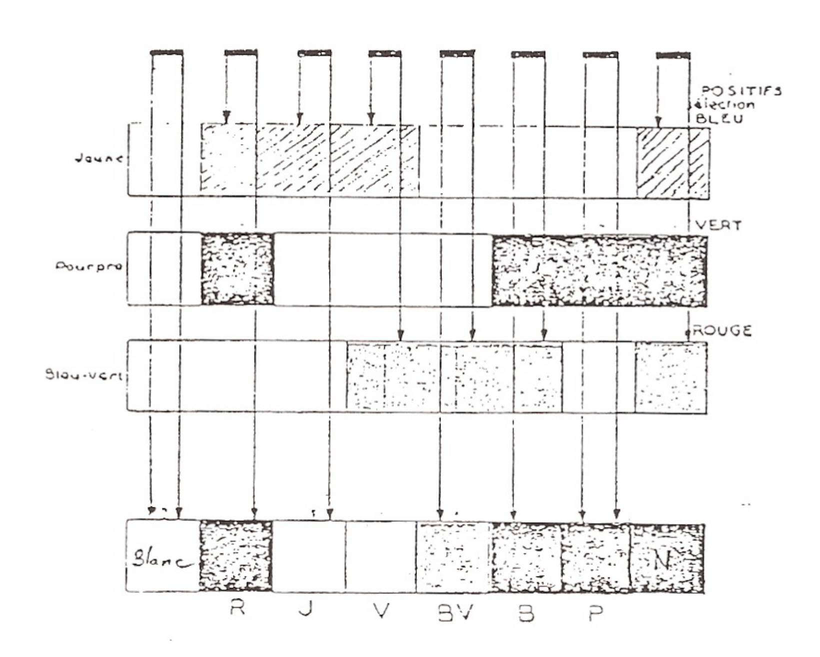
IV – SYNTHESE SOUSTRACTIVE (figure 24)

Procédé de soustraction successive de bandes spectrales à partir d'un faisceau de lumière blanche.

Les densités argentiques des clichés positifs précédents sont virées en couleur complémentaire et superposées.

sélection bleu	virage	jaune	
verte		magenta	(pourpre)
rouge		cyan	(bleu-vert)





La restitution du noir résulte de la superposition des 3 couches complémentaires. Un déséquilibre d'une des couches entraîne donc une dominante colorée.

La restitution par synthèse soustractive est le procédé actuellement universellement utilisé pour la projection des images cinématographiques.

TABLE DES MATIERES

PHOTOCHIMIE

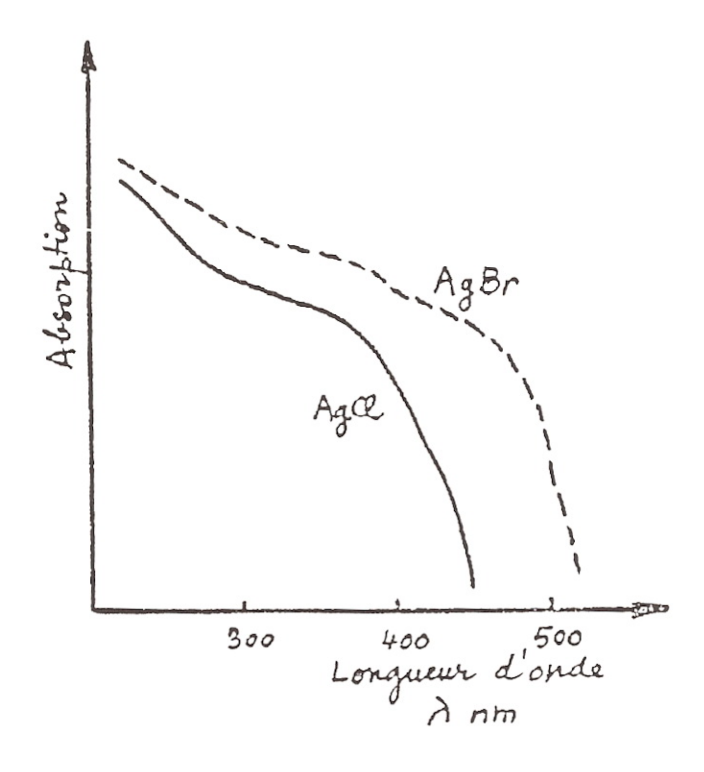
INTRODUCTION

LOI DE GROTTHUS – DRAPER (1818-1843)

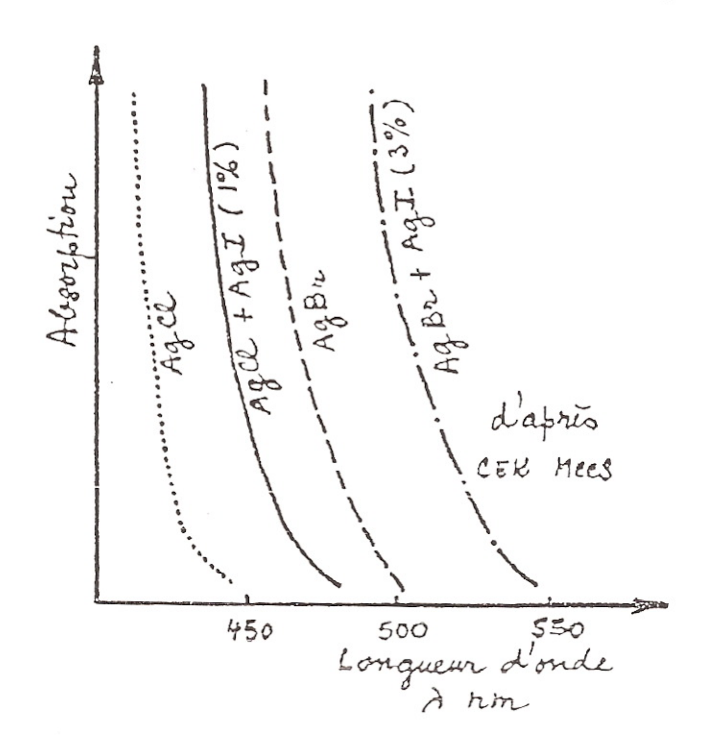
L'action photochimique d'une radiation dépend de son absorption.
La sensibilité intrinsèque des halogénures d'argent à la lumière est donc liée à leur absorption spectrale.

Cette absorption se situe, pour les chlorures dans l'ultraviolet et dans la partie violette du spectre.

Pour les bromures cette absorption se situe dans le bleu et dans l'ultraviolet (figure 25).



L'adjonction de iodure permet de décaler l'absorption naturelle des cristaux vers la région verte du spectre (figure 26)



LOI D'EINSTEIN (1912)

Toute transformation photochimique est provoquée par l'absorption d'un quantum d'énergie lumineuse.

Le rayonnement étant essentiellement une émission d'énergie qui se déplace sous forme d'ondes électromagnétiques (photons) ou sous forme d'énergie cinétique d'une particule matérielle.

Un rayonnement ne peut donc être détecté que s'il interagit avec la matière.

IMAGE LATENTE

C'est la modification des cristaux d'halogénure d'argent sous l'action de radiations. Elle n'est pas décelable même avec le plus fort grossissement du microscope électronique.

Cette modification est seulement mise en évidence par le développement.

Cette modification permanente va permettre la réduction des cristaux d'halogénure d'argent en argent métallique exposés à une vitesse infiniment plus grande que ceux non exposés.

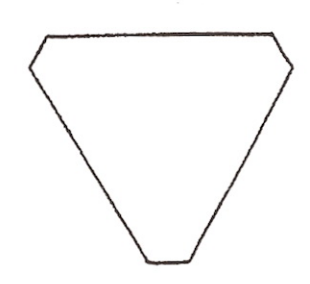
L'amplification obtenue grâce au développement varie selon le traitement de 10^7 à 10^9 (10 millions à 1 milliard de fois l'effet initial).

GÉNÉRALITÉS SUR LES CRISTAUX D'HALOGENURE D'ARGENT

COMPOSITION ET STRUCTURE

Selon les types d'émulsion, il est utilisé comme récepteur photosensible, du chlorure d'argent, du bromure d'argent, des cristaux mixtes de chlorobromure ainsi que des cristaux complexes comportant une faible proportion de iodure.

Par examen au microscope on constate que ces cristaux présentent une forme triangulaire (figure 27) ou hexagonale bien que leur mode de cristallisation appartient au système cubique à face centrée type chlorure de sodium (figure 28).



Aspect schématique d'un cristal d'halogénure d'argent

fig 27

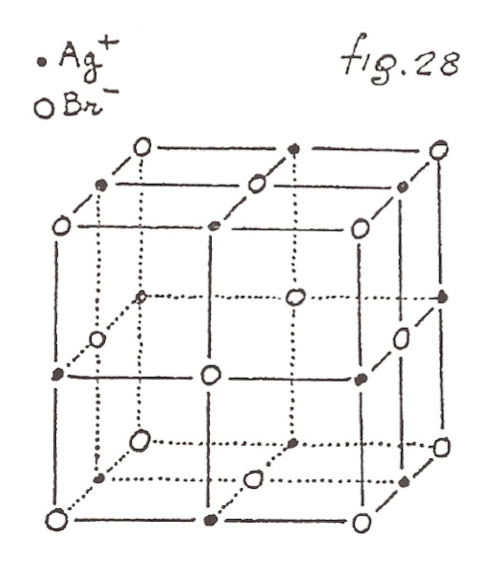
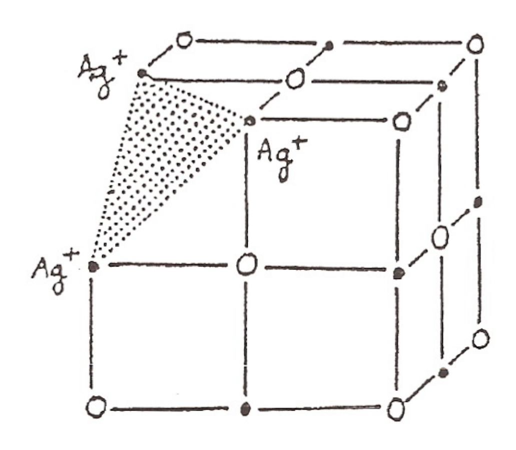


fig. 28

Cristal de bromure d'argent système cubique à faces centrées

La figure 29 montre la raison pour laquelle ces cristaux présentent souvent à l'examen direct cette forme triangulaire.

(Les ions Ag^+ portent des charges positives — triangle hachuré — et l'absorption d'autres ions à charge négative, autres que les ions halogénures, au cours de la précipitation empêche la croissance du cristal au-delà de ce triangle).



Arrêt de la croissance d'un cristal de AgBr   fig. 29

DIMENSIONS

La dimension d'un cristal d'halogénure d'argent influe évidemment sur la sensibilité, la probabilité de rencontre avec un photon augmentant avec la surface.

Mais ce facteur a perdu de l'importance compte tenu des autres possibilités offertes par les techniques modernes.

		diamètre	surface
EMULSION TYPE :	Lippmann	0,05 µ	0,002 μ^2
	Ciné positive	0,3 µ	0,07 μ^2
	Ciné négative	1 µ	0,9 μ^2
	Radio	1,8 µ	2,4 μ^2

(600 milliard de cristaux/cm^3 d'émulsion liquide ciné positive et 6 milliards de cristaux/cm^3 d'émulsion liquide radio).

RAPPEL SUR LA STRUCTURE ATOMIQUE DE L'Ag

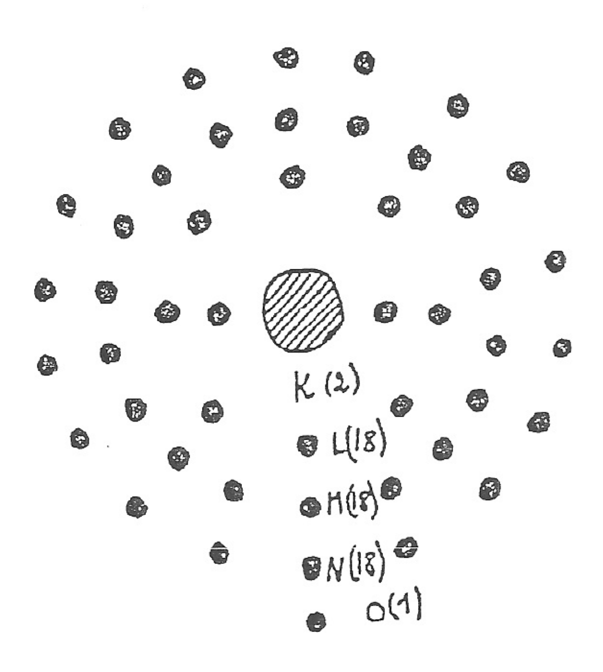
Un atome se compose d'une manière succincte, d'un noyau central (proton(s) + neutron(s)) autour duquel gravitent des électrons disposés sur diverses orbites correspondant chacune à un niveau énergétique bien précis.

L'atome d'argent (figure 30) comporte diverses orbites désignées par des lettres K.L.M.N. portant chacune un nombre pair d'électrons.

L'étude de la structure atomique a montré que ces nombres pairs correspondent à une configuration stable identique à celle des gaz rares (très peu réactifs) et que chacun des niveaux d'énergie est entièrement occupé.

Seule la dernière couche extrême, 0, ne porte qu'un seul électron appelé électron de valence, qui peut être facilement détaché de son orbite, son départ correspondant à l'ionisation de l'atome d'argent.

Ag métallique → Ag^+ + électron libre. (e^-)



Structure de l'atome d'argent

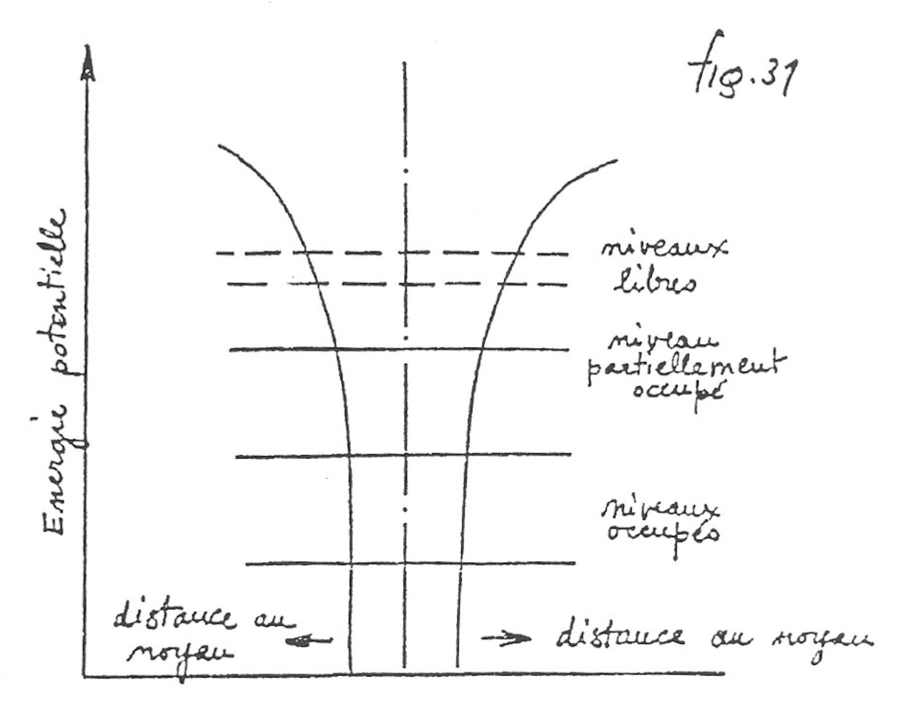
L'énergie potentielle des électrons aux environs du noyau peut être représentée selon le tracé schématique de la figure 7.

L'énergie potentielle des électrons se trouvant le plus près du noyau est plus faible que celle des électrons des couches périphériques. De plus, la force d'attraction dûe au noyau diminue avec l'éloignement.

Les électrons placés au-delà du sommet des courbes représentées sur la figure 31 pourront quitter l'atome alors que ceux se trouvant sur les niveaux inférieurs ne le pourront pas. (L'espace près du noyau est alors appelé puit de potentiel).

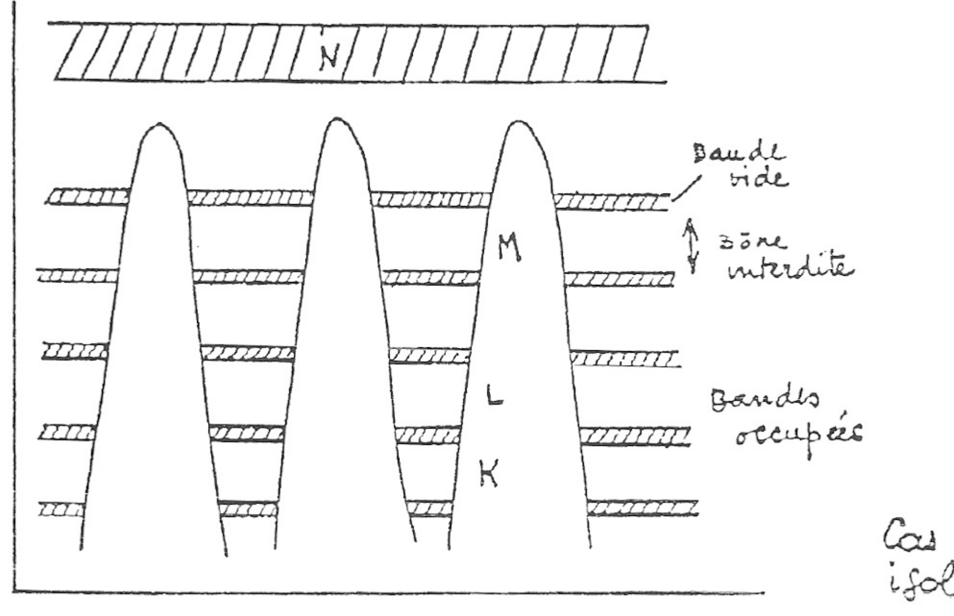
Dans un cristal, on retrouve une situation analogue, mais avec l'interaction des ions voisins dans le réseau, les niveaux énergétiques sont moins nettement définis que dans un atome.

Au lieu de posséder une valeur unique, représentée dans la figure 7 par un segment de droite, chaque niveau se subdivise en un grand nombre de niveaux très voisins constituant une bande pratiquement continue.

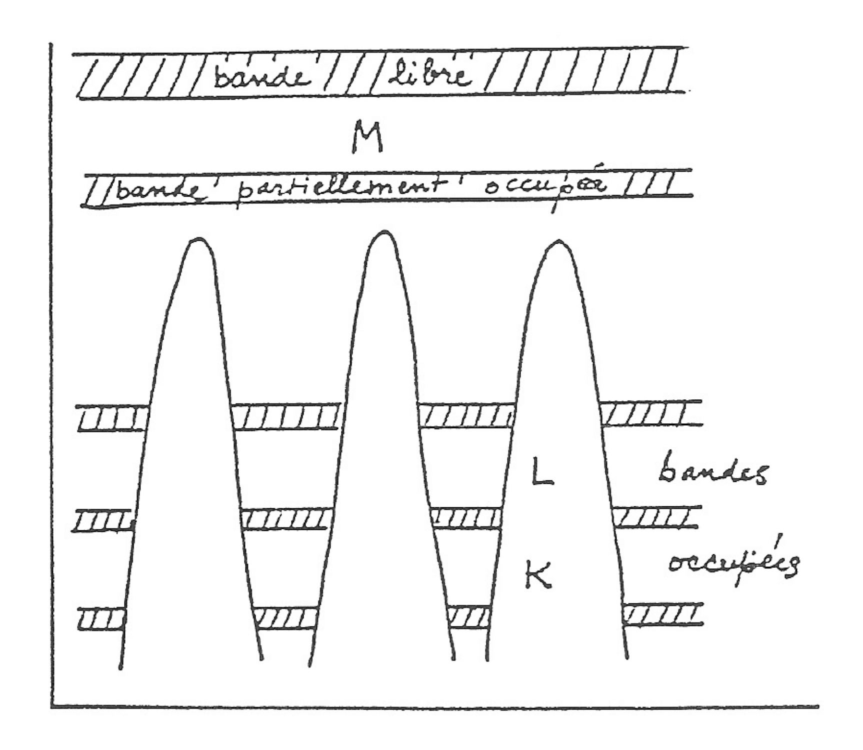


Dans ce cas, chaque électron, dans le cristal peut admettre toute valeur d'énergie intérieure à la bande. Deux exemples mettent en évidence les situations relatives à un cristal isolant et à un cristal conducteur (figures 32 et 33).

Dans le premier cas (Fig. 32)les derniers niveaux totalement occupés sont à l'intérieur du puit de potentiel et un très grand écart les sépare du prochain niveau énergétique libre. Une énergie considérable est nécessaire pour éjecter un électron dans la bande supérieure et lui permettre de circuler dans le cristal avec sa charge électrique. Ce cristal se comporte donc comme un isolant.



Dans le deuxième cas (figure 33) deux niveaux énergétiques se trouvent au-dessus des sommets du puit de potentiel. En particulier une de ces bandes d'énergie n'est que partiellement occupée tandis que l'autre est vide. Il existe donc ainsi des places vacantes pour que des électrons puissent passer d'une bande à l'autre. Portant une charge électrique, ces électrons donnent naissance à un courant électrique.



Cas d'un conducteur

Dans le cas d'un cristal de bromure d'argent les électrons de valence (périphériques) se trouvent dans une bande d'énergie inférieure pour l'ion brome. Une zône supérieure, correspondant à l'ion argent, est vide mais son niveau d'énergie est trop élevé pour que des électrons puissent l'atteindre spontanément par simple agitation thermique.

La très grande énergie nécessaire pour transférer un électron dans la bande vide de conductivité doit donc être apportée de l'extérieur.

Dans ce cas cette énergie est fournie par les photons incidents (au cours de l'exposition) et permet de faire passer les électrons de valence dans la bande de conductivité.

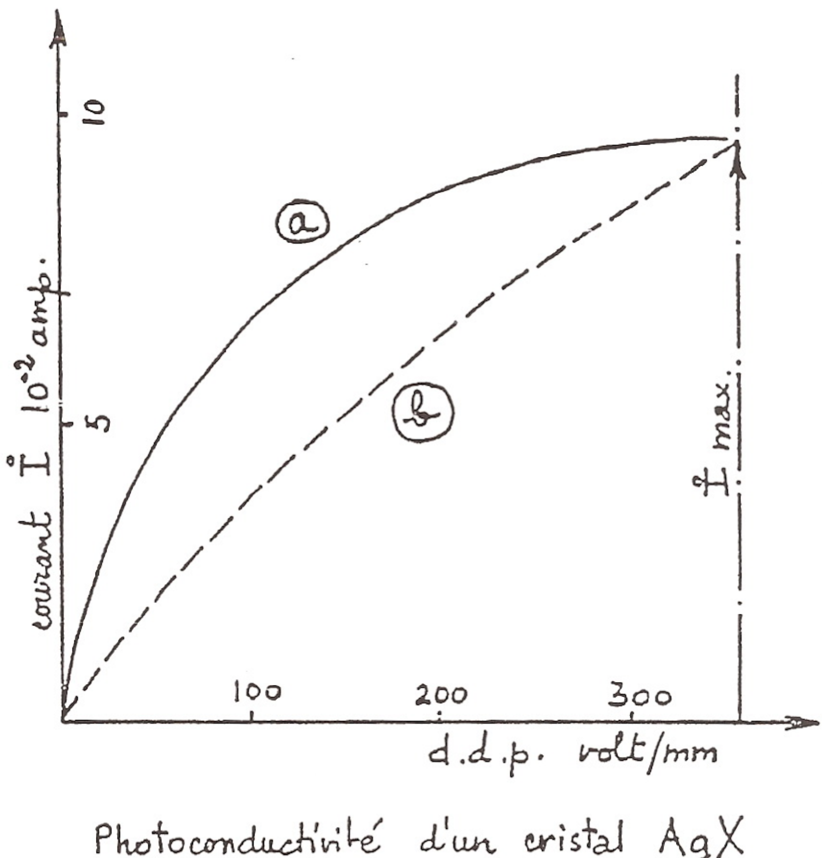
PHOTOCONDUCTIVITE DES CRISTAUX AgX

Les ions aussi bien que les électrons interviennent dans cette conductivité.

DEPLACEMENT DES ELECTRONS

La conductivité des cristaux de chlorure et de bromure d'argent est très faible à température ordinaire (résistivité de l'ordre de 100.000 ohms/cm) en l'absence d'éclairement. Cette conductivité n'est en effet liée qu'à un mouvement ionique dû à l'agitation thermique. Elle devient nulle au voisinage du zéro absolu.

Avec l'éclairement la conductivité croit très vite jusqu'à une valeur limite : courant de saturation, même si l'on augmente la différence de potentiel (figure 34). La courbe (a) représente la photoconductivité d'un cristal pur et la courbe (b) celle d'un cristal contenant des inclusions d'argent.



Photoconductivité d'un cristal AgX

Le courant étant fonction de la charge de l'électron et de la distance parcourue, il apparaît d'après la courbe (b) que certains électrons ont été piégés en route, pièges constitués par l'argent en excès présent dans le cristal.

On retrouve le même phénomène avec un cristal ayant subit une maturation chimique (nous verrons ceci lors d'un prochain exposé) et comportant des inclusions de soufre (celui-ci se comportant également comme un piège à électron).

DEPLACEMENT DES IONS

Si l'on soumet le cristal, dans l'obscurité, à un champ électrique, les électrons restent liés à leurs ions respectifs, mais les ions argent interstitiels ou autres, voisins des sites libres pourront se déplacer pour les occuper.

Leur vitesse de déplacement est faible et ils ne transportent qu'un courant assez faible (variable et croissant pour des températures élevées).

A l'approche du zéro absolu la mobilité ionique est pratiquement nulle et les cristaux non éclairés ne produisent plus de courant.

Le déplacement des ions argent à travers le réseau cristallin est étroitement lié à la présence d'irrégularités dans ce réseau.

Différents modèles ont été proposés pour représenter ces défauts de structure.

Ces défauts qui sont des imperfections locales du réseau cristallin, sont généralement le siège de champs électriques. Par conséquent, des zones très réactives sont ainsi créées et les réactions chimiques ou photochimiques intéressant le cristal se produisent préférentiellement à leur voisinage ou utilisent leur énergie libre.

On peut distinguer :

Les défauts de FRENKEL (figure 35)

Au-dessus du zéro absolu les ions n'occupent pas une position rigoureusement fixe mais vibrent autour d'une position moyenne.

Pour les halogénures d'argent l'amplitude de vibration est suffisante pour que quelques ions Ag^+ puissent quitter leur position normale et se placer en position interstitielle.

Ag^+ Br^- Ag^+ Br^- ○
Ag^+ →
Br^- Ag^+ Br^- Ag^+ Br^-
Ag^+ Br^- Ag^+ Br^- Ag^+
Br^- Ag^+ Br^- Ag^+ Br^-

Défaut de FRENKEL

Ce déplacement d'Ag^+ joint à un emplacement vacant constitue le défaut de Frenkel.

— Les ions halogénures — plus gros ne peuvent se placer en position interstitielle.

Ce défaut de Frenkel a la propriété de migrer dans le cristal, les ions interstitiels pouvant sauter d'une position à l'autre — (surtout si un champ électrique créé par une répartition irrégulière des charges dirige ce mouvement).

L'emplacement vacant dû au départ d'un ion Ag^+ peut lui aussi se déplacer, un ion Ag^+ réticulaire pouvant venir occuper cet emplacement mais le mécanisme est moins fréquent que dans le cas précédent.

Le passage d'un ion de sa position normale à une position interstitielle est réversible et un ion interstitiel peut se replacer sur un emplacement vacant pour redonner un ion réticulaire.

Il s'établit dans le cristal, au bout d'un certain temps, un équilibre entre le nombre d'ions passant en position interstitielle et celui des ions se recombinant sur les positions vacantes, traduit par la relation :

(Ag^+ interstitiels) (emplacements vacants Ions Ag^+) = KF

On peut créer artificiellement de tels défauts en introduisant dans le système cristallin des ions polyvalents, par exemple un halogénure de cadmium. L'ion porte 2 charges + : occupant dans le cristal l'emplacement d'un ion réticulaire Ag^+ il créé un emplacement libre pour maintenir la charge électrique en équilibre. (figure 36).

L'introduction d'ions d^{++} a donc pour effet de faire diminuer la quantité d'ions Ag^+ interstitiels compte tenu de la relation précédente.

Ag^+ Br^- Ag^+ Br^- Ag^+
Br^- Cd^{++} Br^- Ag^+ Br^-
Ag^+ Br^- ○ Br^- Ag^+
Br^- Ag^+ Br^- Ag^+ Br^-

Influence de l'introduction d'ions Cadmium

Les défauts de SCHOTTKY (figure 37).

Ces défauts proviennent de la perte simultanée d'un cation et d'un anion. Il existe un état d'équilibre.

$$(\text{Emplacements vacants ions halogénure})\ (\text{empl. vac. ions } Ag^{+}) = KS$$

A l'heure actuelle, il semble que le rôle joué par ces défauts soit négligeable devant celui joué par les défauts de Frenkel.

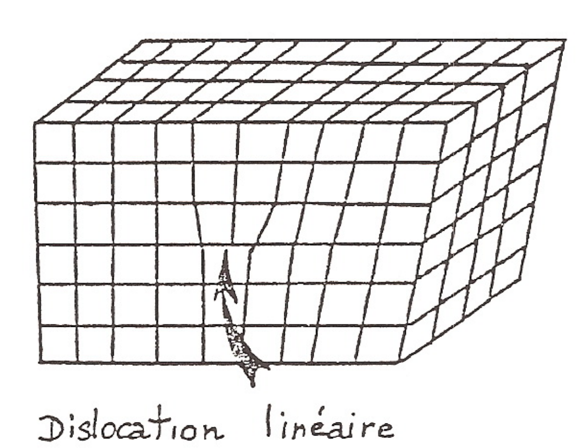
Ag^{+}	Br^{-}	Ag^{+}	Br^{-}	Ag^{+}
Br^{-}	Ag^{+}		Ag^{+}	Br^{-}
Ag^{+}	Br^{-}	Ag^{+}	Br^{-}	Ag^{+}
Br^{-}	Ag^{+}	Br^{-}		Br^{-}

Défaut de SCHOTTKY

Les défauts linéaires (figure 38).

Un cristal parfait peut subir un cisaillement le long d'un plan du réseau. Si ce glissement correspond à un nombre entier de distances réticulaires les parties qui ont glissé se réajustent parfaitement en raison de la périodicité de structure. Dans ce cas aucun défaut n'apparaît.

Par contre, si le glissement n'affecte qu'une partie du cristal, et c'est le cas généralement, il se produit une déformation dûe à une tension importante dans le cristal sur la ligne où le glissement s'arrête.



Dislocation linéaire

IMAGE LATENTE

Les cristaux d'halogénure d'argent comportent, de par leur nature cristalline imparfaite, des pièges à électron provoqués soit par des déformations du réseau cristallin soit par inclusion d'impuretés.

Lors de l'exposition à la lumière certains électrons du cristal acquièrent, sous l'impact des photons, l'énergie suffisante pour changer de niveau (passage dans la bande de conductivité).

Ces électrons sont alors mobiles dans le cristal jusqu'à leur capture par l'un des pièges à électron. Les charges négatives ainsi constituées peuvent se combiner avec les ions Ag^{+} et former des dépôts d'Ag métallique non décelables visuellement : l'image latente.

Cette image latente argentique va servir de catalyseur au moment du développement et permettre la discrimination des cristaux touchés par la lumière de ceux qui ne l'ont pas été.

NATURE CHIMIQUE DE L'IMAGE LATENTE

La comparaison de cristaux d'halogénure d'argent fortement irradiés et de cristaux normalement exposés au début du développement, au microscope, montre une analogie des deux phénomènes.

L'argent photolytique et l'argent de développement se propagent à partir de points distincts à travers tout le cristal.

Pour un cristal fortement irradié il a été montré que l'exposition s'accompagne toujours de formation d'argent métallique. Le processus peut être représenté par les équations suivantes :

$$Br^{-} + \text{photon } (h\nu) \quad Br^{o} + \text{électron}$$

$$Ag^{+} + \text{électron} \longrightarrow Ag^{o} \text{ métallique}$$

Dans la pratique, l'exposition en vue d'obtenir une image par voie de développement est incomparablement plus faible et l'étude directe par analyse chimique n'est pas possible.

Des analogies expérimentales permettent cependant de tirer les conclusions suivantes :

. Les composés qui oxydent l'argent métallique font aussi disparaître l'image latente.

(les halogènes libres, le persulfate de potassium, l'acide chromique . . .).

. Une émulsion photographique très fortement irradiée, en présence d'un accepteur d'halogène montre qu'il y a proportionnalité entre le nombre de photons absorbés et le poids d'argent libéré.
On peut ainsi tracer une droite qui traduit cette relation et dont le prolongement passe par l'origine. On peut conclure par extrapolation qu'une très faible exposition fournit encore de l'argent mais en si minime quantité qu'il ne peut être détecté que par l'intermédiaire de l'image latente amplifiée par le développement chimique.

. Il existe une similitude entre la croissance de l'argent photolytique et celle de l'argent de développement.

Il est possible de conserver l'image latente après dissolution du cristal d'halogénure d'argent qui la porte, puis la rendre visible par développement physique. Ce même traitement permet de renforcer des germes d'argent colloïdal déposés par condensation sous vide.

Bien que ces analogies ne soient pas des preuves directes, il semble logique de conclure à l'identité probable des germes d'image latente et de microscopiques particules d'argent.

HYPOTHESE DE GURNEY ET MOTT (1935 à 1938)

Cette hypothèse est restée valable jusqu'à nos jours dans sa forme générale.

Processus primaire électronique

Br^{-} + photon $h\nu$ Br^{0} + électron

L'absorption d'un photon conduit à la création de deux porteurs de charge mobiles dans le réseau cristallin.

Un électron et un " trou positif ".

L'électron se déplaçant dans la bande de conductivité et le " trou positif " dans la bande de valence.

Ces deux bandes présentant une différence d'énergie ΔE égale à l'énergie du photon absorbé.

L'électron se meut jusqu'à ce qu'il soit piégé dans un piège à électron (argent ou soufre) il en résulte à cet endroit un excès de charge négative capable d'attirer des ions argent du voisinage ce qui correspond à la seconde phase.

Processus ionique

électron + germe de sensibilité → germe chargé négativement
germe chargé − + Ion Ag interstitiel → [Germe, e −, Ag +]

[germe, e −, Ag +] → germe + Ag^{0}

Cette théorie ne tient pas parfaitement compte de la formation de trous positifs et de la mobilité de l'électron éjecté qui ne se recombine pas avec ces trous positifs.

Par ailleurs, il semble que le rôle attribué aux ions argent interstitiels soit trop important, la concentration de ces ions dans un cristal d'halogénure étant beaucoup trop faible pour qu'ils puissent intervenir efficacement.

Le brome libéré lors de l'absorption du photon serait neutralisé par les germes de sensibilité selon HICKMAN et la gélatine selon SHEPPARD.

Un perfectionnement à la théorie de GURNEY et MOTT a été proposé par MITCHELL supposant que les ions argent interstitiels sont libérés lors de la capture d'un trou positif par un ion bromure très réactif (ion sur un sommet). Cette théorie n'a pas encore reçu de vérification expérimentale complète.

Par ailleurs, il faut remarquer qu'au cours de la préparation des émulsions, il existe toujours dans les cristaux de l'argent non halogéné dont le taux peut atteindre 10^{-7} à 10^{-5} g par g d'halogénure d'argent. Il faut comparer ce taux d'argent préexistant au taux d'argent libéré lors d'une exposition photographique qui est de :
10^{-9} g (2.10^{-10} à 5.10^{-8}) par g d'halogénure d'argent.

Il est donc logique de penser que la structure de l'argent photolytique est très différente de celle de l'argent préexistant et qu'il est peu probable que le seul rôle de la lumière soit de grossir les germes de sensibilité jusqu'à obtention d'une taille critique susceptible de catalyser le développement.

Avec les émulsions les plus sensibles actuellement il suffit de 4 à 5 photons pour permettre une discrimination entre un cristal exposé et un cristal non exposé.

Pour rappel les cristaux d'une émulsion sont constitués par un assemblage variant de 10^{7} à 10^{11} ions d'où l'immense difficulté rencontrée lors des études touchant l'image latente.

Stabilité de l'image latente

Un seul atome d'argent formé par suite de l'absorption d'un photon suivant la théorie de GURNEY et MOTT ne donne pas naissance à une image latente stable.

Il semblerait d'après WEBB qu'à partir de 2 atomes d'argent on obtienne une image latente relativement stable.

La stabilité augmente avec l'importance de l'image latente.

Images latentes internes et externes

Une technique de dissolution superficielle des cristaux d'halogénure d'argent permet de mettre en évidence la présence d'images latentes externes et internes.

La distribution de ces images latentes dans un cristal dépend de plusieurs facteurs : durée et niveau énergétique de l'exposition, et conditions de traitement.

Elle semble indépendante de la composition spectrale de la lumière.

La différenciation entre les deux types d'image peut être effectuée selon la méthode de BERG, MARRIAGE et STEVENS avec des révélateurs tout à fait non solvants ou très solvants.

Les révélateurs non solvants ne développent que les images superficielles.

Pour les révélateurs solvants il est nécessaire d'éliminer l'image latente externe par réhalogénation, par oxydation ou par développement superficiel puis blanchiment.

Révélateurs solvants = hyposulfite ou thiocyanate
ou iodure (qui fait craquer le cristal)
\+ développateur

DEFAUTS D'INTEGRATION ET EFFETS PHOTOGRAPHIQUES

1 – EFFET DE RECIPROCITE

Loi de Bunsen - Roscoe : la masse d'un composé résultant d'une réaction photochimique (donc dûe au seul effet d'une radiation) ne dépend que de l'énergie absorbée mais non pas de la vitesse d'absorption.

L'effet de la réaction est donc proportionnel au produit du flux actif incident par la durée de son action.

La loi de Bunsen - Roscoe est aussi appelée loi de réciprocité.

Ecart à cette loi de réciprocité.

L'application de cette loi à la photographie reste valable pour la formation des photoélectrons ou d'une façon générale pour la formation d'argent photolytique en présence d'un accepteur d'halogène.

Dès qu'il s'agit de considérer une succession complexe exposition développement on constate que cette loi n'est plus valable.

– Flux incident de forte intensité

L'afflux d'énergie est trop rapide et de nombreux photoélectrons ne peuvent trouver des germes de sensibilité pour s'y fixer. Certains migrent à l'intérieur et d'autres se perdent à l'extérieur.

Les ions argent qui devraient, lors de la phase ionique, les neutraliser ont une migration trop lente : il y a donc perte d'énergie.

– Flux incident de faible énergie

La fréquence d'éjection des électrons est très basse. Les ions argent ont le temps de se combiner à eux mais le nombre d'électrons éjectés est trop petit pour conduire à la formation d'une image latente stable.

L'agitation thermique la décompose en effet avant qu'elle n'ait été renforcée. On observe encore ici une perte d'énergie.

Ainsi de part et d'autre d'une valeur optimale du flux incident on constate qu'il est nécessaire de dépenser une énergie supérieure pour arriver au même résultat.

2 – EFFET D'INTERMITTENCE

Une exposition effectuée en une seule fois a un meilleur rendement qu'une exposition fractionnée.

Cet effet est apparenté à l'effet dû à l'erreur à la loi de réciprocité dans le cas des éclairements faibles ou forts.

3 – EFFET CLAYDEN

Certaines expositions effectuées dans des conditions particulières peuvent se comporter comme " désensibilisatrices ".

Une exposition type " flash " désensibilise une émulsion vis à vis d'une exposition de durée normale.

Une exposition aux rayons X désensibilise une émulsion vis-à-vis d'une exposition au flash.

Cet effet Clayden peut s'expliquer par la théorie de Gurney et Mott. En effet, au moment de l'exposition intense et de forte énergie il se produit une libération importante de photoélectrons qui ne peuvent être tous piégés par les germes superficiels.

Ils migrent donc à l'intérieur et forment de ce fait des germes de très faible taille, très dispersés, à l'intérieur du cristal, qui seront autant de pièges à électrons efficaces vis-à-vis d'une seconde exposition modérée. Il se produira alors une diminution de la sensibilité superficielle au profit de la croissance d'une image latente interne. L'utilisation d'un révélateur superficiel conduira donc à l'obtention d'une image de désensibilisation proportionnelle à la seconde exposition. L'utilisation d'un révélateur solvant permettant de développer l'image interne fait disparaître cet effet Clayden.

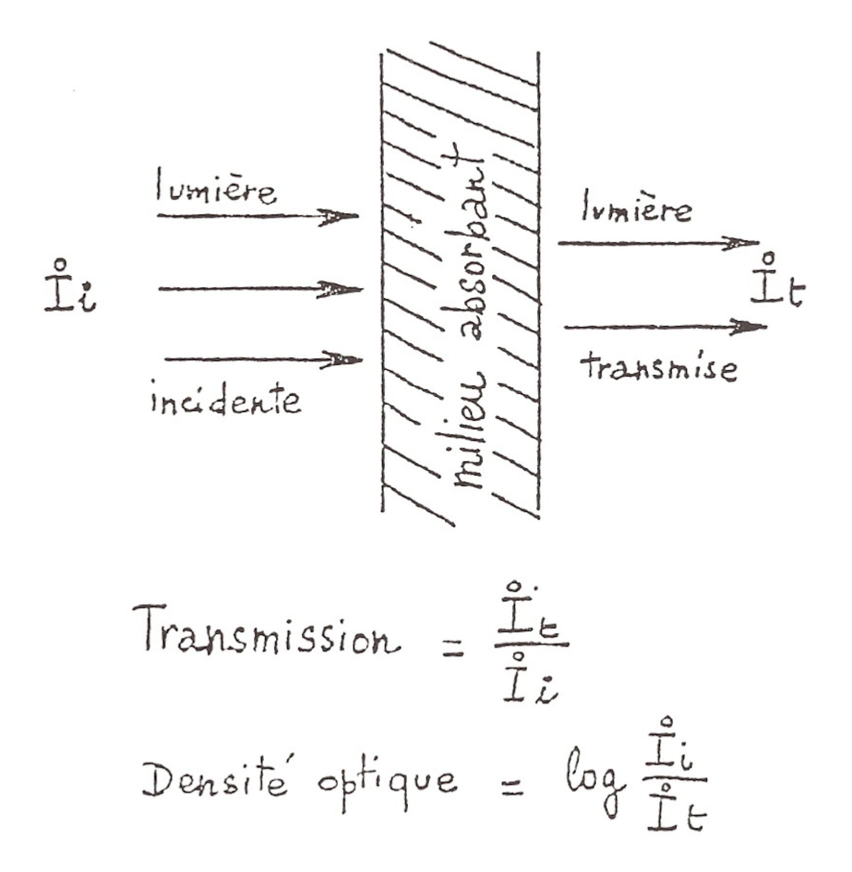
SENSITOMETRIE

La sensitométrie est dans son sens le plus large la science permettant d'étudier et de contrôler les effets de la lumination et du développement sur les émulsions photographiques.

Hurter et Driffield proposent, en 1890, de traduire la relation entre la densité d'une image argentique et la quantité de lumière ayant servi à sa formation par une fonction relativement simple.

densité optique = fonction (log. lumination)

Lorsque l'on observe par transparence une image photographique on constate qu'elle est formée de diverses plages de brillances différentes dépendant de la transmission locale de la couche d'émulsion (figure 39)



$$\text{Transmission} = \frac{\text{intensité lumière transmise}}{\text{intensité lumière incidente}} = \frac{It}{Ii}$$

L'opacité est l'inverse de la transmission $= \frac{Ii}{It}$

Cette relation n'est pas utilisée dans la pratique sensitométrique on lui préfère la relation utilisant le logarithme décimal de l'inverse de la transmission (opacité).

$$\text{densité optique} = \log \frac{1}{T} = \log O_p = \log \frac{\text{lumière incidente}}{\text{lumière transmise}}$$

L'utilisation des logarithmes se justifie par la commodité du tracé des courbes et par le fait que l'oeil verrait logarithmiquement (selon WEBER-FECHNER).

Relation du noircissement

La variation de l'opacité d'un film (ou d'un papier) photographique est fonction de la lumination à laquelle il a été soumis et peut être définie par la relation.

opacité = fonction (lumination)

En utilisant à nouveau une relation logarithmique on obtient :

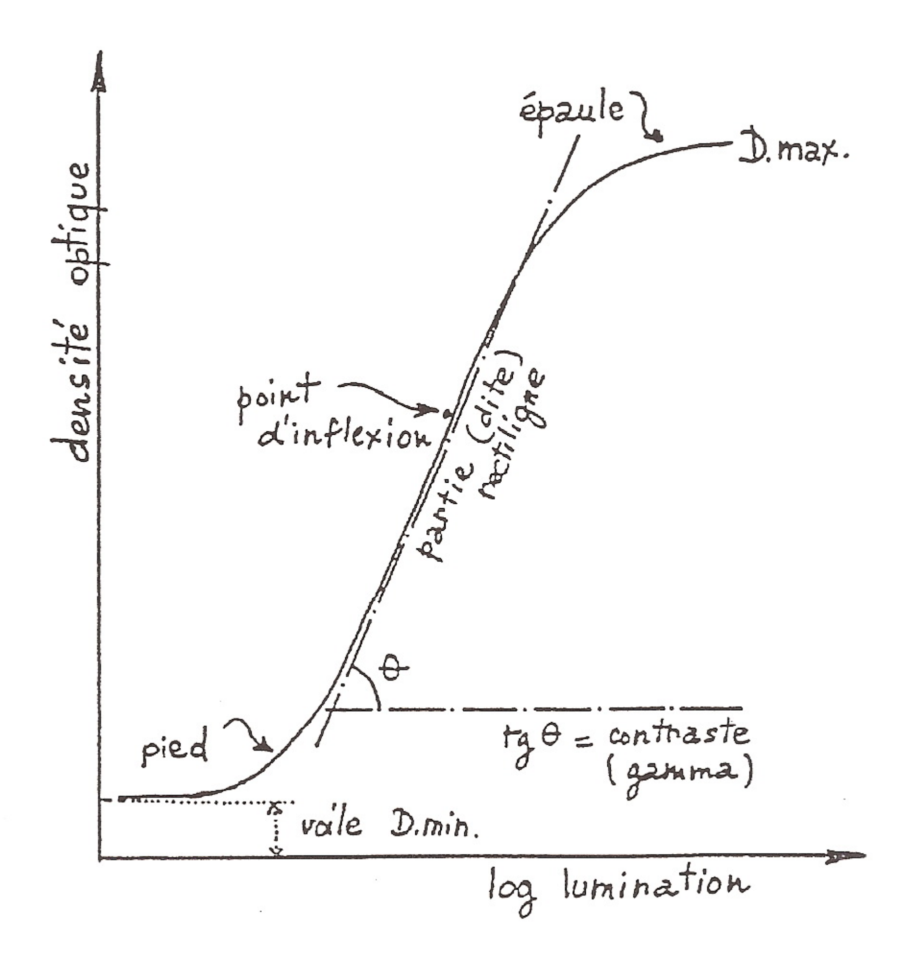
log opacité = fonction log (lumination)

ce qui équivaut à :

densité optique = f (logE)

Cette relation permet de tracer une courbe appelée courbe sensitométrique.

Les valeurs de densité optique sont portées en ordonnées et les valeurs LogE sont portées en abscisses (figure 40).



Caractéristiques d'une courbe sensitométrique

- pied de la courbe : il correspond à l'inertie de l'émulsion aux faibles luminations.
- partie rectiligne : c'est dans cette partie que se manifeste la proportionnalité entre la Densité optique et le LogE
- épaule : saturation des réactions chimiques.

Paramètres utiles déterminés à partir d'une courbe sensitométrique

- la sensibilité S
- le contraste (ou les contrastes)
- la densité maximum
- la zône de modulation utilisable
- le voile

Matériel utilisé en sensitométrie

Deux types d'instruments sont utilisés en sensitométrie :

- le sensitomètre
- le densitomètre

Le sensitomètre permet de réaliser l'exposition d'un échantillon sensitométrique dans des conditions parfaitement contrôlées et reproductibles.

Un sensitomètre comporte (figure 41)

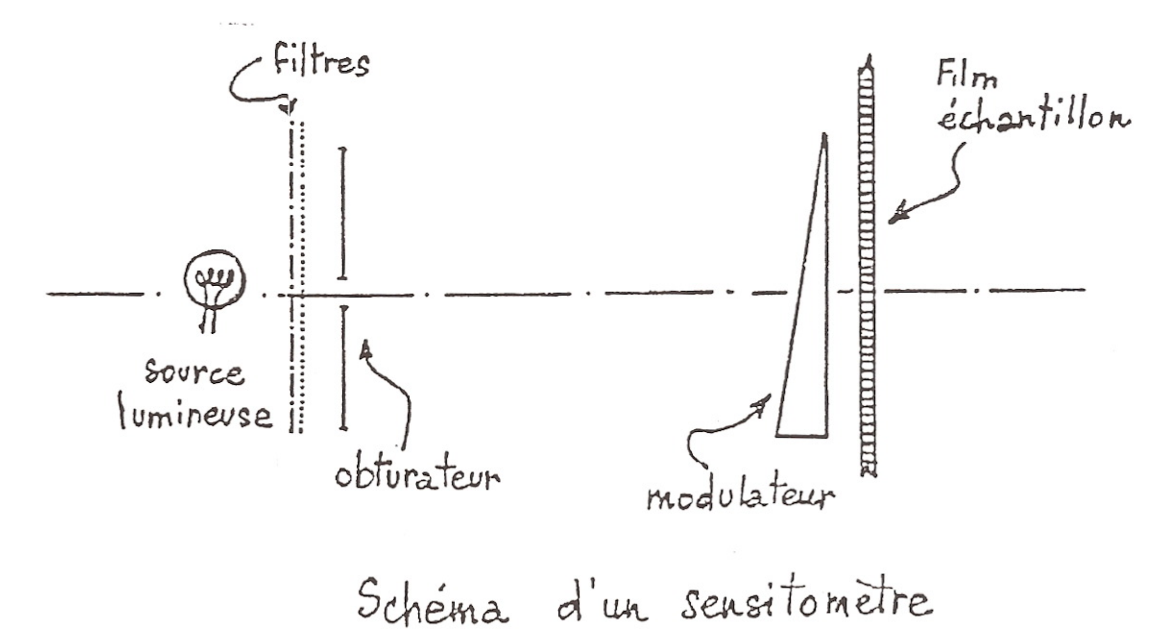


Schéma d'un sensitomètre

- une source lumineuse
- un dispositif permettant le réglage du temps d'exposition obturateur
- un système de modulation de la lumière reçue par un échantillon (coin continu ou à plages).
- un support permettant de positionner correctement l'échantillon par rapport à la source lumineuse
- des filtres (neutres et correcteurs de couleur)

La lumination donnée par un sensitomètre est donnée par la relation :

$$\text{Lumination lux/sec.} = \text{Eclairement x temps} = \frac{\text{Intensité x t}}{d^2}$$

Après son exposition dans le sensitomètre l'échantillon est développé dans des conditions parfaitement connues les plus proches possibles des conditions d'utilisation pratique - (contrôle des paramètres chimiques et des paramètres physiques).

Un densitomètre comporte (figure 42) :

- Une source de lumière
- Un récepteur photosensible (cellules photoémissives)
- des filtres (neutres et colorés)

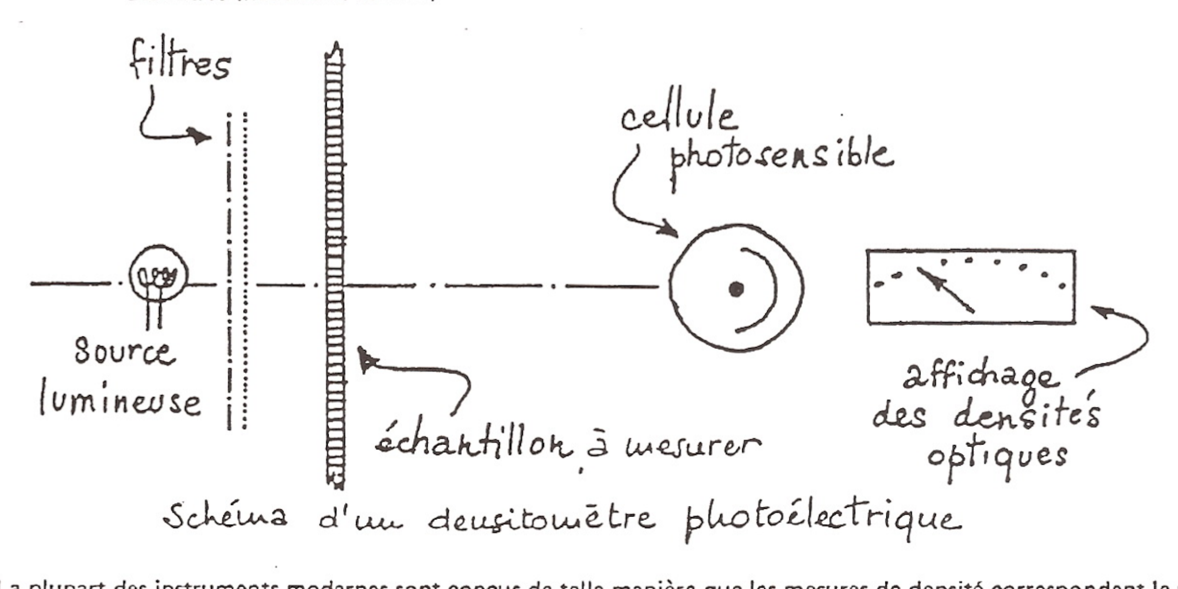


Schéma d'un densitomètre photoélectrique

La plupart des instruments modernes sont conçus de telle manière que les mesures de densité correspondent le plus possible à l'utilisation pratique du matériau photographique (effet Callier).

Densitométrie en couleur (figure 43)

Il s'agit dans ce cas de mesurer les caractéristiques de chacune des trois couches d'émulsion contenant respectivement une image colorée en cyan, magenta ou jaune.

On place donc entre la source de lumière et l'échantillon un filtre coloré, rouge, vert ou bleu, selon la nature de la couche dont on recherche les caractéristiques sensitométriques.

Dans ce cas il s'agit de densitométrie intégrale destinée à donner des indications correspondant à l'utilisation pratique du matériau photosensible.

(La densitométrie analytique s'intéresse surtout aux mécanismes mis en jeu dans l'émulsion lors du traitement en cherchant à mesurer séparément chaque colorant sans introduire les effets dûs aux absorptions parasites).

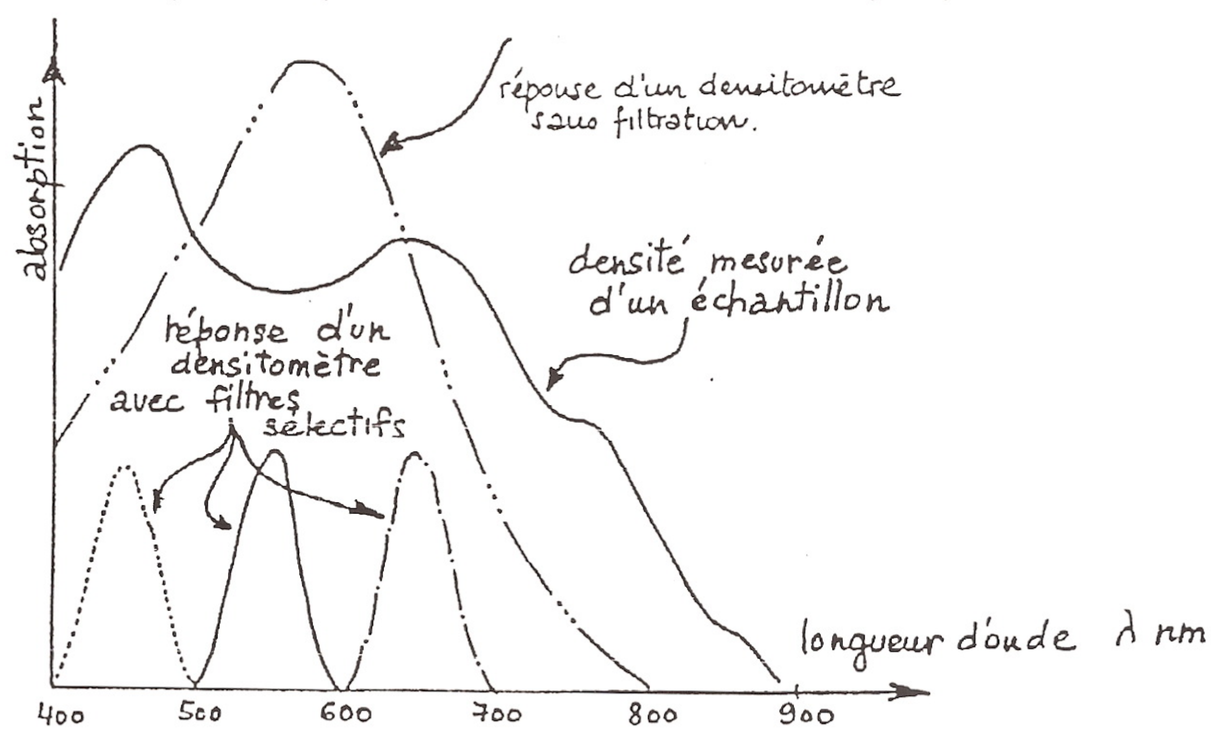


TABLE DES MATIERES

SURFACES PHOTOSENSIBLES

SURFACES PHOTO-SENSIBLES

INTRODUCTION

I — DEFINITION D'UNE SURFACE PHOTO-SENSIBLE

Une surface photo-sensible est essentiellement une surface destinée à enregistrer des radiations électro-magnétiques (dans le cas qui nous intéresse - la lumière) et à transformer ces impressions lumineuses en image perceptible par l'oeil et qu'il est nécessaire de conserver sous forme stable.

Ce récepteur photosensible est composé d'un sel ou d'un mélange de sels d'argent (halogénures d'argent) - (chlorure, bromure ou iodure d'argent) dispersé dans un liant organique, la gélatine et déposé sous forme d'une couche mince sur un support approprié (verre, papier, triacétate de cellulose, polyester . . .)*

* Ce récepteur photosensible, ainsi élaboré, est désigné par les termes film ou pellicule et présente selon le domaine d'utilisation des caractéristiques bien différentes.

Ces variations des caractéristiques peuvent se situer au niveau physique :

- nature et format du support

ou au niveau chimique :

- nature de l'émulsion (terme désignant la dispersion des sels d'argent dans la gélatine).

DIFFÉRENTS TYPES DE FILM

Selon l'application particulière, l'émulsion devra posséder des caractéristiques sensitométriques, optiques et physico-chimiques bien définies, découlant bien souvent d'un compromis entre plusieurs propriétés souvent contradictoires :

- pouvoir résolvant, granulation, acutance, sensibilités spectrale et intrinsèque, latitude d'exposition, stabilité de l'image latente, reproduction des couleurs, simplicité d'emploi, prix de revient, etc...

Voici à titre indicatif quelques exemples :

. émulsions à haut contraste - faible rapidité
  arts graphiques, reprographie, etc...

. émulsions sensibles aux rayons X, etc...
  radiographie, gammagraphie, etc...

. émulsions à grain très fin, rapidité moyenne microfilmage, photomicrographie, ionographie...

. émulsions lentes à grain ultra fin
  holographie, microphotographie...

. émulsions à moyenne et haute rapidité - grain moyen à fin
  prise de vues cinéma, photographie amateur et professionnelle

Dans le cadre de l'industrie cinématographique on peut retrouver, par ailleurs, une grande variété d'émulsions :

Films de prise de vues : émulsions à contraste faible, moyenne et haute rapidité, grain fin à moyen

Films de contretypage : émulsions à grain fin, peu sensible, contraste faible.

Films de tirage : émulsions contraste élevé, peu sensibles, grain très fin.

Films pour l'enregistrement du son : émulsions assez peu sensibles, à contraste élevé, très haute définition, grain très fin.

A ces variations de nature d'émulsion viennent s'ajouter les variations de formats :

Films en plaques (jusqu'à 50 x 60 cm)
Arts graphiques, radiographie, gammagraphie, neutrographie, photomicrographie, photographie stéllaire, spectrographie, holographie, photogrammétrie, reprographie, etc...

Films en bandes non perforées (16, 35 et 70 mm. de large) -

Microfilmage, radiographie, enregistrement cathodique, photo amateur et professionnel, etc...

Films en bandes perforées (8 mm jusqu'à 70 mm de large et 600 m. de long)
Cinéma amateur et professionnel, radiographie, ionographie, etc...

RAPPEL DE QUELQUES DATES CONCERNANT LES SCIENCES ET TECHNIQUES PHOTOGRAPHIQUES

Moyen Age		Observation par les alchimistes de la photosensibilité de certains composés organiques ou minéraux.
1727	SCHULZE	Détection de silhouettes à l'aide de nitrate d'argent
1777	SHEELE	Noircissement du chlorure d'argent dû aux radiations bleues
1800	HERSCHEL	Découverte de l'infra-rouge
1801	RITTER	Noircissement du chlorure d'argent dans l'U.V.
1816	NIEPCE	Tentative de photographie sur papier au chlorure d'argent
1820	NIEPCE	Insolubilisation du bitume de Judée par la lumière
1822	NIEPCE	Découverte de l' " héliographie " : action du soleil sur une plaque métallique sensibilisée par du bitume de Judée.
1826	NIEPCE	Première " prise de vue " avec appareil photo sur plaque au bitume (plusieurs heures d'exposition, image autopositive).
1835	DAGUERRE	Invention du " Daguerreotype " à l'argent ioduré développé par vapeurs de mercure (quelques minutes d'exposition - image autopositive).
1840	HERSCHEL	Sensibilité des halogénures d'argent dans l'infra-rouge.
1840	TALBOT	Invention du Calotype (papier à l'iodure de potassium, imprégné de nitrate d'argent et d'acide gallique.
1847	NIEPCE DE ST-VICTOR	Plaques à iodure d'argent dans l'albumine.
1851	SCOTT ARCHER	Invention des plaques au " collodion humide " (iodure d'argent préparé dans la nitrocellulose) - image négative - quelques secondes d'exposition.
1861	MAXWELL	Principe de la sélection trichrome et de la synthèse des couleurs.
1862	RUSSELL	Développement chimique des halogénures d'argent par le pyragallo alcalin et traitement par inversion
1868	DUCOS DU HAURON	Photographie en couleurs par synthèse soustractive à partir de sélections trichromatiques N & B.
1871	MADDOX	Emulsions au gélatino-bromure d'argent.
1873 à 1876	JOHNSTON KENNET BULTON	Industrialisation des plaques de verre présensibilisées au gélatine-bromure d'argent pour prises de vues instantanées

1883	EDER	Papier de tirage au chloro-bromure d'argent
1888	EASTMAN	Photographie mise à la portée du grand public
1890	HURTER & DRIFFIELD	Rationalisation de la sensitométrie photographique
1891	LIPPMANN	Photographie interférentielle des couleurs
1895	ROENTGEN	Radiographie
1895	ROENTGEN	Action des rayons X sur les halogénures d'argent
1895	A & L. LUMIERE	Cinématographie
1907	L & A. LUMIERE	Plaques autochromes pour la photographie autopositive en couleurs
1908	BELIN	Retransmission " Belinographique " d'images photographiques
1912	FISHER & SIEGRIST	Traitement chromogène par les dérivés de la p-phénylène diamine.
1936	KOSLOWSKI	Sensibilisation par les sels d'or
1938	GURNEY & MOTT	Mécanisme de la formation de l'image latente
1939	JONES	Normalisation de la sensitométrie
1939	JAMES	Théorie cinétique du développement
1942	ROTT	Développement par transfert chimique
1943	HANSON	Masques automatiques par couleurs colorés pour films en couleurs

STRUCTURE D'UNE SURFACE PHOTOSENSIBLE

D'une manière générale un film photographique est constitué des éléments suivants :

. un support destiné à faciliter la manipulation de la couche photo-sensible extrêmement mince

Sur une face du support :

. un substratum destiné à assurer la liaison mécanique entre le support et les couches d'émulsion

. une ou plusieurs couches photosensibles

. une ou plusieurs intercouches non photosensibles

. une surcouche de protection

Sur l'autre face du support :

. éventuellement un substratum

. une couche anti-halo

. une couche antistatique

LE SUPPORT

Les couches sensibles, dont le rôle est essentiel, doivent être supportées par une matière refléchissante ou transparente, conférant à l'ensemble du matériau photographique une solidité mécanique suffisante pour conserver la géométrie des éléments enregistrés.

Supports transparents

Le premier support transparent utilisé a été le verre, il est maintenant remplacé par des matières plastiques plus souples dans la plupart des cas.

Deux types principaux de support plastique sont utilisés :

. les esters cellulosiques

. les polyesters

Esters cellulosiques

L'ester le plus largement utilisé maintenant est le triacétate de cellulose (il a remplacé la nitrocellulose trop facilement inflammable). - (figure 44)

$OOCCH_3$ $OOCCH_3$ — CH — HC — CH — HC — O — CH — O — H_2CCH_3COO — $[\ ]_n$

il est soluble en particulier dans le chlorure de méthylène et permet ainsi la fabrication du support à partir d'un collodion étendu sur un ruban métallique sans fin (ou sur une très grande roue) dont la surface est parfaitement polie.

Polyesters

Le polytéréphtalate d'éthylène glycol (noms commerciaux : Mylar, Cronar, Gevar, Estar...) est un polymère dont les propriétés mécaniques sont supérieures à celles du triacétate de cellulose. (figure 45)

$$HO-CH_2-CH_2-O-\left[\underset{\overset{\parallel}{O}}{C} - C_6H_4 - \underset{\overset{\parallel}{O}}{C} - O - CH_2 - CH_2 - O - \right]_n$$

Il est insoluble dans la plupart des solvants usuels. La fabrication du support se fait par extrusion du polymère fondu, puis par étirage biaxial du ruban extrudé.

Propriétés physiques des supports transparents

Les supports doivent posséder un certain nombre de propriétés optiques, mécaniques, physico-chimiques et chimiques.

Un support doit être :

. inerte vis à vis de l'émulsion

. parfaitement transparent et non diffusant

. exempt de défauts optiques

. mécaniquement résistant

. résistant à l'humidité

. rigide mais flexible

. stable chimiquement

. stable dimensionnellement

. peu combustible

Ces diverses exigences ne sont pas toujours réunies et il est parfois nécessaire d'établir un compromis utilisant au mieux les diverses caractéristiques du support retenu.

En particulier le support polyester qui présente la meilleure stabilité dimensionnelle (en fonction du taux d'humidité et de la température) est largement utilisé dans le domaine arts graphiques où les problèmes de repérage sont aigus. Par contre dans le domaine du cinéma, la trop grande résistance mécanique et l'impossibilité de faire des collures classiques sur ce support, en ont limité jusqu'à présent la diffusion.

Suivant l'utilisation finale, le support plastique pourra être fabriqué avec des épaisseurs pouvant varier de 0,070 mm. à 0,200 mm.

Supports réfléchissants

Dans la plupart des cas, le support réfléchissant est constitué par du papier comportant une couche de sulfate de baryum ou d'oxyde de titane (couches blanches réfléchissantes).

Il peut comporter par ailleurs une couche imperméabilisante (polyéthylène) lui conférant de meilleures caractéristiques de résistance à l'eau.

LE SUBSTRATUM

Le support plastique étant par nature hydrophobe il est nécessaire de constituer entre celui-ci et les couches sensibles hydrophiles, une couche tampon possédant des propriétés intermédiaires entre celles du support et celles de la gélatine des couches.

Cette couche intermédiaire est appelée Substratum et est constituée en général par de la gélatine dégradée.

Cette gélatine dégradée est incrustée dans le support grâce à un solvant attaquant la surface du support.

LES COUCHES SENSIBLES

D'une manière générale, les couches photosensibles sont constituées par de la gélatine comportant une dispersion d'halogénures d'argent photosensibles.

On retrouve également les éléments suivants :

. sensibilisateurs spectraux

. formateurs de colorants (coupleurs)

. colorants anti-diffusants

. tannants

. antivoiles

. fongicides

Dans certains cas particuliers on peut également réaliser des couches sensibles comportant " in situ " l'argent développateur.

a) — la gelatine

La gélatine est actuellement le meilleur liant pour réaliser des couches photographiques :

- . viscosité adaptée à la technologie de couchage
- . action protectrice efficace du colloïde sur les halogénures d'argent
- . formation de couches uniformes et transparentes
- . à l'état sec indice de refraction voisin de celui des supports plastiques et du verre
- . perméabilité à l'eau et aux solutions aqueuses des traitements photographiques
- . excellent liant stable pour conserver l'argent ou les colorants développés

La gélatine est une protéïne composée d'acides aminés qui forment des chaînes polypeptidiques (figure 46)

Le terme gélatine recouvre un ensemble assez important de substances préparées à partir d'os, de peaux de porc ou de veau.

La gélatine dispersée dans l'eau chaude forme une solution colloïdale, qui se transforme en gel par refroidissement à température ambiante.

Il est nécessaire de tanner les couches de gélatine afin de leur conférer une solidité suffisante.

Le tannage consiste à créer un réseau tridimensionnel en réunissant par des " ponts " les chaînes polypeptidiques.

b) — les halogénures d'argent

Les halogénures d'argent sont les récepteurs actifs de la couche photosensible.

Selon le type d'émulsion fabriqué il est utilisé soit du chlorure d'argent, soit un sel mixte chlorobromure (le rapport chlorure/bromure étant fonction des caractéristiques cherchées) soit par un sel complexe chlorobromoiodure, ou bromoiodure d'argent.

Une émulsion sèche peut contenir jusqu'à 65 % de son poids en halogénure d'argent dans le cas de couchage sur film.

c) — les sensibilisateurs spectraux

Ce sont des composés colorés dont la structure chimique est bien définie (cyanines, mérocyanines, etc...) et caractérisée par une chaîne conjuguée, composée d'un nombre impair d'atomes de carbone à liaisons alternativement simples et doubles, et dont les extrêmités portent des atomes permettant l'interversion de l'ordre de ces liaisons (figure 47).

$$X - \overset{|}{C} = (\overset{|}{C} - \overset{|}{C})_n = Y \rightleftharpoons X = \overset{|}{C} - (\overset{|}{C} = \overset{|}{C})_n - Y$$

L'absorption de telles molécules de colorant sur les cristaux d'halogénure d'argent permet de conférer à ceux-ci une sensibilité spectrale plus étendue que leur sensibilité naturelle.

L'absorption de l'énergie incidente d'une radiation par le colorant sensibilisateur absorbé sur le cristal d'halogénure fait apparaître dans celui-ci des électrons libres, comme ceux libérés dans un cristal non sensibilisé par une radiation de longueur d'onde plus courte.

d) — les formateurs de colorants (coupleurs)

Les couches sensibles des films destinés à la photographie en couleur comportent en plus une classe de constituants permettant la synthèse de colorants " in situ ".

Dans la plupart des cas, les colorants formés résultent d'une réaction de condensation, par oxydation, entre le dévelop-pateur chromogène et les coupleurs à priori incolores.

Il existe une condition fondamentale pour le bon fonctionnement d'un film couleur multicouche : c'est la non diffusion des molécules de coupleurs et de colorants d'une couche à l'autre.

Il est donc nécessaire d'immobiliser les coupleurs dans la gélatine.

Deux techniques sont utilisées :

. la méthode de Fischer consiste à ajouter à la méthode de coupleur une longue chaîne organique aliphatique qui rend le composé hydrophobe et empêche ainsi la diffusion dans la gélatine.

. la méthode de Jelly et Vittum consiste à dissoudre les coupleurs dans un solvant organique lourd et à disperser celui-ci sous forme de fines gouttelettes dans la gélatine.

Il existe trois classes principales de coupleurs :

— les dérivés du phénol et du naphtol qui permettent la synthèse de colorants cyan.

— les dérivés de la pyrazolone qui permettent la synthèse de colorants magenta.

— les dérivés type 1-3 dicétone qui permettent la synthèse de colorants jaune.

e) — les colorants anti-diffusants

Dans certains cas (par exemple une émulsion couleur positive) il est nécessaire d'introduire un colorant limitant la diffusion de la lumière dans les couches et permettant ainsi l'obtention d'une meilleure netteté de l'image.

Ces colorants ne doivent avoir aucune action chimique vis à vis de l'émulsion et sont éliminés au cours du traitement.

f) — les tannants

Afin d'assurer une meilleure résistance mécanique des couches sensibles il est nécessaire de durcir la gélatine par une opération de tannage.

Il se créé ainsi un réseau tridimensionnel entre les chaînes polypeptidiques de la gélatine.

Les tannants les plus utilisés sont :

- des dérivés d'aldéhydes (formol, glutaraldéhyde...) qui créent des ponts entre les groupes amino ($-NH_2$) de la gélatine
- des composés minéraux tels que les aluns : alun d'aluminium, alun de chrome qui créent des ponts entre les groupes carboxyles ($-COOH$) de la gélatine.

g) — les antivoiles

Certains types d'émulsions très élaborées nécessitent la présence à l'intérieur des couches sensibles de quantités extrê-mement faibles de composés antivoiles limitant le développement spontané de cristaux non isolés.

Les ions bromure, certains dérivés organiques du type benzotriazole ou benzimidazole peuvent être utilisés.

h) — les fongicides

La gélatine est par nature un excellent milieu de culture des microorganismes.

Il est donc nécessaire d'incorporer aux couches d'émulsion des composés empêchant la formation de moisissures et autres microorganismes (conservation en milieu tropical par exemple).

LA COUCHE ANTIHALO

La couche antihalo a pour but d'éviter les réflexions parasites des radiations incidentes au niveau des diverses interfaces de l'ensemble support/couches sensibles.

Cette couche antihalo est généralement située sur la face du support ne portant pas l'émulsion (cas des émulsions de tirage destinées aux laboratoires professionnels). Son efficacité est cependant nettement supérieure quand elle est placée directement entre le support et les couches d'émulsion.

COUCHE ANTISTATIQUE

Cette couche située sur la face dorsale du support a pour but d'éviter la formation de charges d'électricité statique sur le support au cours des diverses manipulations du film avant développement.

Cette couche n'est pas toujours présente, la couche dorsale antihalo constituée par une dispersion de carbone colloïdal dans un liant synthétique présentant d'excellentes propriétés antistatiques.

LA COUCHE ABTIABRASION

C'est une surcouche de gélatine nue servant de protection à la dernière couche d'émulsion sensible.

PREPARATION DES EMULSIONS

PRINCIPE

La préparation des dispersions de cristaux d'halogénures d'argent, microscopiques, dans le liant colloïdal qu'est la gélatine fait appel à une technologie hautement spécialisée.

Cette préparation comporte diverses étapes qui vont être étudiées successivement :

1 — la précipitation

2 — la maturation physique

3 — le figeage et l'élimination des sels solubles indésirables

4 — la sensibilisation chimique ou deuxième maturation

5 — la préparation finale, l'addition des rajouts

6 — le couchage et sa technologie

LA PRECIPITATION

Cette opération consiste à réaliser au sein de la solution colloïdale de gélatine la fabrication de microcristaux d'halogénures d'argent.

Ceci est obtenu en faisant réagir une solution de nitrate d'argent ($NO_3 Ag$) avec une solution d'un halogénure (ou d'un mélange d'halogénures chlorure, bromure ou iodure) de potassium (ClK, BrK ou IK)

$$NO_3 Ag \quad + \quad XK \longrightarrow AgX \quad + \quad NO_3 K$$

Les halogénures d'argent, chlorure, bromure et iodure, étant insolubles dans l'eau (il existe un quatrième halogénure, le fluorure, qui lui est soluble mais jamais utilisé), il se produit une précipitation dans la solution colloïdale de gélatine.

La précipitation comporte la formation initiale de germes au cours d'une phase appelée nucléation, puis cette nucléation est suivie d'une phase de croissance des germes.

La manière dont sont conduites les opérations de précipitation influe considérablement sur la structure des cristaux en formation.

La composition des solutions initiales utilisées, le rapport des concentrations des divers halogénures, la température des solutions, le pH de ces solutions, la nature de la gélatine, l'ordre dans lequel sont introduites les solutions, sont autant de facteurs extrêmement importants dans cette technologie de fabrication des émulsions.

LA MATURATION PHYSIQUE

Le but de cette opération est l'achèvement de la croissance des cristaux d'halogénures d'argent.

Aussitôt formés au moment de la précipitation les cristaux les plus fins ont tendance à se redissoudre au profit de cristaux déjà plus importants (processus d'Ostwald).

L'action solvante du milieu peut être réglée par l'adjonction d'autres sels minéraux (par exemple le chlorure d'argent est soluble dans le chlorure de magnésium, l'ammoniaque permet également de réaliser des complexes argentiques solubles.)

Par contre il est également possible de diminuer l'action solvante à l'aide de sels de cadmium, ou de plomb.

Au cours de cette maturation physique, la taille des cristaux tend vers un état d'équilibre, qui fait qu'au cours des opérations suivantes les cristaux ne changeront pratiquement plus de forme.

LE FIGEAGE ET L'ELIMINATION DES SELS SOLUBLES INDESIRABLES

La réaction de précipitation a fait apparaître d'une part un halogénure d'argent insoluble et d'autre part du nitrate de potassium soluble dans l'eau.

Par ailleurs, la gélatine peut contenir encore des sels indésirables qu'il est nécessaire d'éliminer.

La solution colloïdale de gélatine est alors figée par refroidissement puis découpée sous forme de " nouilles ".
Ces nouilles sont soumises à un lavage énergique à l'eau froide qui fait gonfler la gélatine et qui permet l'élimination des sels solubles par diffusion.

On peut aussi coaguler la gélatine, à l'aide de sulfate de sodium par exemple, qui entraîne les cristaux d'halogénures d'argent dans son réseau, les sels solubles restant dans la solution surnageante.

LA SENSIBILISATION CHIMIQUE
(ou deuxième maturation ou
maturation en refonte)

L'émulsion primitive débarrassée de ses sels indésirables est alors prête à être sensibilisée au cours d'une opération de sensibilisation chimique.

La sensibilité intrinsèque de chaque cristal s'accroît considérablement pendant ce traitement (augmentation de sensibilité de 100 à 1000 fois).

La difficulté réside dans l'ajustement précis des doses de sensibilisateurs et du traitement thermique afin d'obtenir le maximum de sensibilité et le minimum de voile.

Les sensibilisateurs sont ajoutés dès le début de la refonte de l'émulsion lavée, vers 40° C, et en très faible quantité pour éviter une mauvaise conservation du produit fini.

Cette sensibilisation chimique provoque la formation de germes de sensibilité qui sont situés le plus souvent à la surface du cristal en des points particulièrement réactifs du cristal (zônes de distorsion ou de contrainte).

Dans une première étape il y a absorption du sensibilisateur, puis lors d'une seconde étape il se produit une réaction formant les germes actifs (capables de piéger les photoélectrons émis au cours d'une exposition).

Il existe trois types principaux de sensibilisation chimique :

. sensibilisation par réduction

. sensibilisation sulfurante

. sensibilisation par les métaux nobles.

Sensibilisation par déduction

Souvent elle se produit spontanément par action de la gélatine.

Elle provoque une montée rapide du voile pour les émulsions rapides mais est très efficace pour les émulsions à grains fins.

Les réducteurs utilisés sont des composés tels que le sulfite de sodium et les aldéhydes.

Cette activité sensibilisatrice pourrait s'expliquer par la formation de quelques atomes d'argent disséminés dans le cristal, jouant le rôle d'accepteur d'halogène et facilitant ainsi la migration des électrons vers les centres de sensibilité pour y constituer l'image latente. Cette sensibilisation augmente la sensibilité pour les temps de pose longs (supérieurs à 5 secondes).

Sensibilisation sulfurante

Des substances telles que les thiosulfates (hyposulfites), la thiourée peuvent former avec l'ion Ag^+ des complexes susceptibles de se transformer ensuite en sulfure d'argent qui joue le rôle de sensibilisateur. Cette sensibilisation augmente la sensibilité pour les temps de pose moyens (de 1/10 de seconde à 1 seconde).

Sensibilisation par les métaux nobles

Koslowski en 1936 a découvert l'action sensibilisatrice des sels d'or vis à vis des halogénures d'argent.

Cette sensibilisation augmente la sensibilité pour les temps de pose très courts (1/100 à 1/1000 de seconde).

LA PREPARATION FINALE, L'ADDITION DES RAJOUTS

Avant le couchage de l'émulsion sur son support, il est nécessaire d'en ajuster les caractéristiques photographiques et autres propriétés.

Dans un premier temps la composition de l'émulsion liquide est rigoureusement contrôlée :

. titre en argent, viscosité, pH, concentration en ions Br^- solubles, etc...

Au cours d'un deuxième temps sont ajoutés les additifs permettant de définir définitivement la " personnalité " de l'émulsion :

. Stabilisation de l'image latente, accroissement de la sensibilité spectrale, accroissement de l'aptitude au développement, modification des écarts à la loi de réciprocité, etc...

LE COUCHAGE ET SA TECHNOLOGIE

L'émulsion ainsi préparée est couchée sur son support en général à l'obscurité (ou sous éclairage convenable selon la sensibilité de l'émulsion).

Dès que l'émulsion liquide a été étendue sur le support elle est soumise à un refroidissement énergique qui la fige, puis une évaporation progressive de l'eau permet de réduire l'épaisseur de la couche primitive liquide (10 fois environ) ce qui conduit à un rapprochement et à une réorientation des cristaux.

Par ailleurs les chaînes polypeptidiques de la gélatine se rapprochent et les tannants assurent un pontage irréversible.

Après séchage complet, l'émulsion est conditionnée en température et degré d'humidité (en général 20° C et 50% RH) puis découpée dans les formats désirés.

Modes de couchage des émulsions

Les émulsions liquides peuvent être étendues sur les supports grâce à plusieurs méthodes :

— couchage par report de cylindre immergé

Un cylindre parfaitement poli est partiellement plongé dans une cuve contenant l'émulsion liquide.

Le cylindre en tournant entraîne une certaine quantité d'émulsion qui vient se déposer sur le support, lui-même entraîné par un autre cylindre tournant en sens inverse. La distance entre les deux cylindres est parfaitement contrôlée et permet d'ajuster avec précision le ménisque d'émulsion formé entre ces deux cylindres.

Ce processus peut être répété autant de fois qu'il est nécessaire pour constituer le film définitif.

— couchage par extrusion

Dans ce cas, l'épaisseur de l'émulsion déposée est déterminée par les dimensions de la filière utilisée.
Il est possible avec ce procédé, en multipliant le nombre de filières, de déposer plusieurs couches distinctes à la fois.
Dans tous les cas, la viscosité de la solution de gélatine, la vitesse de défilement du support, sont autant de facteurs jouant sur l'épaisseur des couches déposées.

Les couches les plus fines qu'il est possible de réaliser avec une bonne précision technologique sont les couches de gélatine antiabrasion et ont une épaisseur d'environ 1 micron (1/1000 de mm.)

CARACTERISTIQUES DES EMULSIONS EN FONCTION DE LA NATURE DE SES CONSTITUANTS PHOTOSENSIBLES

Le tableau ci-après permet de donner un aperçu des principales variations des caractéristiques photographiques d'une émulsion en fonction de la nature de ses constituants photosensibles.

	Sensibilité	Pouvoir résolvant (1)	Netteté (2)	Granulation (3)	Dmax	Contraste	Δ Log H
Taille des cristaux	+	−	−	+	−	−	
Répartition taille des cristaux		(−)	−	+		−	+
Nombre de cristaux par unité de surface	(+)		+		+	+	
Sensibilité des cristaux	+		−			−	+
Absorption de la lumière par les cristaux	+	+	+			−	+
Epaisseur de la couche d'émulsion	(+)	−	−		+	+	+
Mélange d'émulsions	+		−			−	+

+ = l'effet va dans le même sens que la cause

− = l'effet va en sens contraire de la cause.

(1) - le pouvoir résolvant indique la limite de séparation de deux traits de plus en plus rapprochés.

(2) - la netteté (critère objectif : l'acutance) est une notion subjective résultant de l'observation de la limite de deux plages qui diffèrent soit en luminance soit en couleur. Une image nette à un certain rapport d'agrandissement peut apparaître floue lorsqu'elle est fortement agrandie.
Une mauvaise netteté agit défavorablement sur le pouvoir résolvant.

(3) - la granulation (critère objectif : la granularité) est également une notion subjective qui indique l'apparence de non uniformité, d'une plage censée apparaître uniforme à un observateur, lorsque celle-ci est vue sous un grossissement suffisant.

TABLE DES MATIERES

TRAITEMENT NOIR ET BLANC ET COULEUR

RAPPEL DU MECANISME DE DEVELOPPEMENT

DEVELOPPEMENT NOIR & BLANC

Le noircissement photolytique (noircissement direct) est le résultat de la réduction des ions Ag^+ en atomes d'argent métallique par fixation d'électrons provenant du cristal. Par contre le noircissement par développement fait appel pour la réduction, à des électrons en provenance du milieu extérieur -qu'est la solution de révélateur-.
Cette solution réductrice ne doit provoquer la formation d'argent métallique que dans les cristaux porteurs d'une image latente, c'est à dire ayant été soumis à l'action de la lumière.

On peut, très schématiquement, considérer le développement comme résultant de deux réactions :

$$Ag^+ \quad + \quad e^- \rightleftharpoons Ag^0 \text{ métallique (potentiel } E_1)$$
$$\text{Réducteur} \rightleftharpoons \text{oxydant} + \bar{e} \text{ (potentiel } E_2)$$

La possibilité de la réaction totale dépendant de la différence des potentiels de chacune de ces deux réactions $E_1 - E_2$

A l'heure actuelle le mécanisme le plus probable est ce qu'on appelle un mécanisme d'électrode à savoir, que le germe serait un conducteur local qui assurerait le transfert de l'électron entre le développateur et les ions Ag^+ provenant de l'intérieur du cristal.

Dans un cristal d'halogénure d'argent non exposé on se trouve en présence d'une certaine structure électronique, d'une distribution des défauts de surface et d'une différence de potentiel qui le caractérise.

Lorsqu'un tel cristal est mis en présence d'une solution développatrice il s'ensuit des mouvements d'ions, un échange électronique et un état d'équilibre et aucune réduction de l'halogénure n'a lieu.

Dans un cristal d'halogénure d'argent exposé, l'image latente a provoqué une modification de l'état de surface et un niveau énergétique inférieur à celui du révélateur.

Lorsqu'un tel cristal est en présence d'une solution développatrice il s'en suit une recherche d'équilibre qui tend à compenser le déséquilibre introduit par le cristal modifié. L'équilibre est rétabli par l'attraction d'une des charges positives du cristal, il y a réduction de l'halogénure d'argent en argent.

$$\underset{\text{ion}}{Ag^+} + e^- \longrightarrow \text{Ag métal}$$

Dans le développement appelé " chimique " ce sont les ions Ag^+ provenant des grains d'halogénure d'argent se trouvant dans la couche sensible qui se trouvent réduits.

Dans le cas où l'halogénure des grains est dissous pendant le développement, les ions Ag^+ se trouvant dans le révélateur peuvent être réduits au niveau du film, il s'agit alors d'un développement dit physique.

Ce dernier type de développement n'est pas employé en pratique mais le caractère solvant d'un grand nombre de substances développatrices vis-à-vis des halogénures d'argent fait qu'il contribue en partie à la formation de l'image argentique finale.

LES SUBSTANCES DEVELOPPATRICES ET LEUR MODE D'ACTION

La caractéristique essentielle de l'agent développateur est donc de fournir les électrons nécessaires à l'équation.

$$Ag^+ + e^- \longrightarrow \text{Ag métal}$$

C'est une fonction remplie par les substances dites réductrices.

Il faut que les électrons fournis par la substance réductrice aient une énergie suffisante pour être transférés de cette substance à l'ion Ag^+. Ce niveau d'énergie est exprimé par une valeur dite : potentiel d'oxydo-réduction.

Lorsque l'on considère le système

ion Argent ⟶ Ag métal

Ag^+ ⟶ Ag

Il est lui-même porteur d'un certain potentiel d'oxydo-réduction.

Pour que la réduction puisse se faire il faut que le potentiel existant entre le développateur à l'état réduit et le développateur à l'état oxydé soit plus important (plus négatif) que celui existant entre l'ion et l'Ag métal.

$$D\ réd./D.\ ox. > Ag^+/Ag$$

Il est possible de calculer ces différents potentiels d'oxydo-réduction et de savoir si une substance chimique est capable ou non de jouer le rôle d'agent développateur.

Il n'est pas suffisant par ailleurs de posséder seulement cette information ; il est nécessaire de connaître la cinétique de la réaction , la discrimination possible par le révélateur des halogénures exposés et ceux qui ne l'ont pas été et les conditions de contact entre l'agent développateur et le cristal d'halogénure (possibilités d'accès de la substance réductrice à son lieu de réaction).

a) Cinétique du développement

On distingue arbitrairement deux étapes dans le processus du développement photographique.

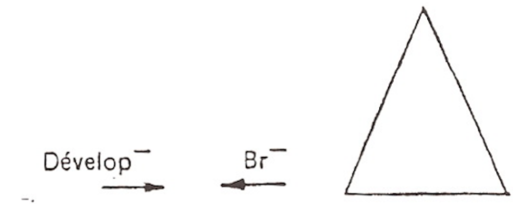
Une première étape constitue la période d'induction. La vitesse du développement y est très lente, elle est liée à la présence de la couche ionique, entourant le cristal d'halogénure, qui ralentit la pénétration de l'agent développateur.

Si l'agent développateur possède des charges électriques, sa pénétration à travers la barrière ionique est d'autant plus difficile.

Ainsi l'hydroquinone qui a deux charges électriques présente une période d'induction plus longue que l'Elon qui ne possède qu'une seulecharge.

Il y a ainsi une relation entre la charge négative de l'ion développateur et la longueur de la période d'induction. Les développateurs à fonction amine qui n'ont pas de charge négative n'ont pas de période d'induction.

On explique ce phénomène de difficulté de pénétration par le fait que la barrière ionique entourant le cristal, elle-même négative, repousse la charge négative portée par l'agent développateur.



On démontre ce mécanisme en ajoutant des ions bromure au révélateur, on augmente ainsi la barrière de charge et par là même la durée de la période d'induction.

b) Rôle de l'image latente dans le développement

Sa fonction essentielle est de différencier les cristaux d'halogénure insolés de ceux qui ne l'ont pas été.

Au niveau du mécanisme du traitement l'image latente de nature argentique catalyse la formation d'argent métallique au même titre que celui-ci accélère la réduction des halogénures d'argent en solution.

c) Morphologie des dépôts d'argent développé

Les dépôts d'argent s'opposent au passage de la lumière, ils constituent des densités qui déterminent en noir et blanc le rendement du processus photographique.

Ces dépôts ont des formes très variables, cependant dans la majorité des cas le microscope électronique met en évidence une forme filamenteuse composée de ce qui semble être de fins cristaux d'argent.

La répartition et la forme des dépôts d'argent peut d'ailleurs être modifiée au cours du traitement, en particulier au cours du séchage. Les conditions de séchage pouvant modifier la compacité des amas argentiques modifient donc la densité photographique offerte par ceux-ci.

DEVELOPPEMENT CHROMOGENE

La production de colorants dans les couches photographiques peut s'effectuer de différentes manières.

Celle qui a été retenue industriellement est celle basée sur la méthode de Fischer et qui consiste à condenser deux fragments de molécules entièrement différents : une partie du colorant est fournie par le développateur oxydé lors de la réduction des halogénures d'argent et l'autre provient d'un composé appelé coupleur apte à se condenser avec le développateur oxydé.

Ce type de formation de colorant est dit " développement chromogène secondaire "

La réaction globale la plus probable (celle qui fait intervenir une forme très peu stable de développement - la quinone diimine - serait la suivante :

$$\text{Révélateur} + 4\ Ag^{+} \quad + \quad \text{coupleur} \longrightarrow \text{colorant} + 4\ Ag^{0}\ \text{métallique} + 4\ H^{+}\ \text{(protons).}$$

ROLE DES DIFFERENTS BAINS DE TRAITEMENT

Le traitement photographique d'une émulsion consiste à utiliser une succession de bains devant en premier lieu former une image argentique ou de colorant, puis éliminer des couches photosensibles les produits de réaction néfastes et les produits non utilisés afin d'assurer une conservation parfaite de l'image.

La complexité et le nombre des bains croissent en passant des traitements noir et blanc négatifs (ou positifs) aux traitements inversibles couleur.

LES BAINS PRINCIPAUX

— Révélateurs noir et blanc (N/B)

Les révélateurs N/B ont pour but de transformer les halogénures d'argent en argent métallique selon la répartition de l'image latente.

La composition des différents révélateurs influera sur la qualité sensitométrique de l'image développée (contraste, sensibilité, granularité . . .)

— Révélateurs chromogènes

Les révélateurs chromogènes ont pour but la transformation des halogénures d'argent en argent métallique selon la répartition de l'image latente, la formation d'argent métallique étant accompagnée de la formation d'une quantité proportionnelle de colorant adéquat (jaune, magenta ou cyan).

LES BAINS SECONDAIRES

— Bains d'arrêt

Ils ont pour but d'arrêter très rapidement la réaction intervenant au cours des développements.

— Fixages

Ils transforment les halogénures d'argent non développés, insolubles dans l'eau, en complexes argentiques solubles dans l'eau.

— **Blanchiments**

Ils transforment l'argent métallique développé lors des développements en sels d'argent solubilisables par les fixages ou spontanément solubles dans l'eau.

— **Tannages**

Ils permettent de durcir la gélatine évitant ainsi un gonflement excessif des couches dans les bains alcalins.

— **Clarifications**

Ces bains permettent de neutraliser certains produits de réaction néfastes et de bloquer leur action vis-à-vis des composés du bain suivant dans une séquence de traitement déterminé.

— **Lavages**

Ils permettent en particulier d'éliminer les complexes argentiques solubles.

— **Stabilisations**

Suivant leur composition, ils permettent soit de transformer les halogénures d'argent en composés stables évitant ainsi un lavage, soit de bloquer les coupleurs non utilisés pour certaines émulsions couleur et d'éviter ainsi la formation de colorants parasites ultérieurement lors de la conservation.

LES DIFFERENTES ETAPES DES TRAITEMENTS NOIR & BLANC ET COULEUR

— **Traitement noir et blanc négatif**

- Révélateur N/B
- Bain d'arrêt
- Fixage
- Lavage

— **La solution de révélateur contient :**

- des agents développateurs (métol, hydroquinone, phénidone)
- des composés alcalins chargés de maintenir le pH du bain (carbonate de sodium, phosphate de sodium, borax...)
- un composé conservateur protégeant les développateurs de l'oxydation aérienne
- des antivoiles (bromure de potassium ou des composés organiques benzotriazole par exemple).

— **Le bain d'arrêt contient en général de l'acide acétique à 2 %**

— Le fixage contient :

- un complexant des ions argent tel que le thiosulfate de sodium (hyposulfite) ou le thiocyanate de sodium (sulfocyanure).
- un agent tannant (alun de potassium)
- un stabilisant du thiosulfate (sulfite de sodium) afin de retarder sa décomposition en milieu acide
- un mélange tampon assurant la conservation du pH acide (acétate de sodium - acide acétique)

— Le lavage permet d'éliminer de l'émulsion (et du support dans le cas du papier) les composés résiduels des diverses réactions.

Le traitement noir et blanc positif diffère du traitement négatif par sa plus grande activité (pH plus élevé) et par la concentration plus forte en agents développateurs.

— Traitement inversible noir et blanc

- premier révélateur N/B
- arrêt
- rinçage
- blanchiment (inversion)
- rinçage
- clarification
- rinçage
- Réexposition
- deuxième révélateur N/B
- arrêt
- rinçage
- fixage
- lavage

— Le premier révélateur N/B, classique, contient en plus un solvant des halogénures d'argent (quelques grammes/litre) qui permet l'obtention de blancs plus purs après inversion.

— Le blanchiment qui transforme l'argent métallique en sel d'argent directement soluble dans l'eau contient :

- un fort agent oxydant (bichromate de potassium)
- un acide fort (acide sulfurique)

— La clarification qui permet d'éliminer la coloration brunâtre de l'émulsion dûe au blanchiment, et de restaurer la sensibilité, des grains d'halogénures non blanchis, détruite par l'oxydation contient du sulfite de sodium.

— La réexposition à la lumière intense permet de recréer une image latente uniforme dans tous les cristaux non blanchis.

— Le deuxième révélateur, dont la composition peut varier sans inconvénients graves, doit redévelopper rapidement les cristaux d'halogénures réexposés lors de l'étape (e)

— Traitement négatif couleur

- révélateur chromogène
- arrêt
- tannage
- lavage
- blanchiment
- lavage
- fixage
- lavage
- stabilisation

— Le révélateur chromogène transforme les cristaux d'halogénures d'argent portant une image latente en argent métallique. Cette transformation étant accompagnée d'une réaction de copulation le développateur oxydé réagissant avec le coupleur pour former un colorant.

Le révélateur chromogène peut contenir :

- un agent développateur (en général un dérivé d'une paraphénylènediamine)
- un agent tampon destiné à maintenir le pH du bain à une valeur précise (phosphates de sodium, borax...)
- un agent conservateur protégeant le développateur chromogène de l'oxydation aérienne (sulfite de sodium, chlorhydrate d'hydroxylamine)
- un antivoile (bromure de potassium, composés organiques...)

— Le tannage destiné à durcir la gélatine pour éviter le gonflement excessif des couches peut contenir un tannant minéral (aluns) ou organique (formol)

— Le blanchiment destiné à réoxyder l'argent métallique formé lors du développement chromogène est différent du blanchiment utilisé pour l'inversion du traitement inversible N/B.

Il contient :

- un agent oxydant (ferricyanure de potassium, bichromate de potassium).
- un agent tampon donnant un pH faiblement basique (pH 8 à 9) ou faiblement acide (pH 4 à 5).
- un agent de réhalogénation (bromure de potassium).

— La stabilisation a pour but d'une part de bloquer, dans certains cas, les coupleurs non utilisés, à l'aide d'un aldéhyde (formol) et d'autre part à faciliter grâce à un agent mouillant (saponine) un séchage régulier par élimination des gouttes d'eau en surface.

Le traitement positif couleur diffère du traitement négatif couleur par la nature du développateur chromogène (dérivé différent d'une paraphénylenediamine).

— Traitement inversible couleur

- prébain
- rinçage élimination dorsale
- premier révélateur noir et blanc
- arrêt - tannage
- lavage - réexposition
- révélateur chromogène
- arrêt fixage
- lavage
- blanchiment
- lavage
- fixage
- lavage
- stabilisation

— Le prébain a pour but de solubiliser la dorsale antihalo (si le film comporte ce type de protection).
Ce bain comporte :

- l'agent de pH permettant la solubilisation de la dorsale (borax)
- un composé antigonflant (sulfate de sodium) conservant aux couches d'émulsion leur intégrité.

— Le révélateur noir et blanc comporte des agents développateurs classiques et est légèrement solvant (thiocyanate de potassium) comme celui utilisé pour le traitement inversible noir et blanc.

— L'arrêt - tannage stoppe l'action du premier révélateur noir et blanc et assure le durcissement des couches de gélatine, il contient :

- un agent tampon assurant un pH acide (acide acétique + borax)
- un agent tannant minéral (alun de potassium)

— Le révélateur chromogène est du même type que celui des traitements couleur négatif ou positif. Il peut contenir en plus un agent chimique fortement voilant (éthylènediamine) évitant l'opération de réexposition.

— L'arrêt fixage stoppe l'action du révélateur chromogène, neutralise l'excès de développateur présent dans le couches et commence en partie le fixage des halogénures non développés.

Les autres étapes du traitement sont de même nature que celles décrites pour les traitements couleur négatif ou positif.

Techniques spéciales

Dans certains cas, il n'est pas possible d'effectuer une opération de développement à l'aide d'un bain de traitement conventionnel.

C'est le cas en particulier du redéveloppement des pistes " son optique "

Il est en effet nécessaire lors du redéveloppement de la piste son, après le blanchiment, que les parties images ne soient absolument pas touchées. On utilise à cet effet un révélateur extrêmement énergique (pH très élevé, forte concentration en agent développateur agent voilant) présenté sous forme visqueuse, ne risquant pas ainsi de migrer en dehors de la zone où il est appliqué. Ce révélateur est uniquement déposé sur la partie, hors image, de la piste son, à l'aide d'une molette rotative.

Après action, ce révélateur est éliminé à l'aide de jets d'eau puissants, judicieusement dirigés, de manière à éviter tout retour dans l'image.

Inversion transfert

Ce procédé inventé par Rott en 1942 permet d'obtenir d'une manière quasi instantanée un négatif accompagné de son positif développé.

Le principe de ce procédé est le suivant :

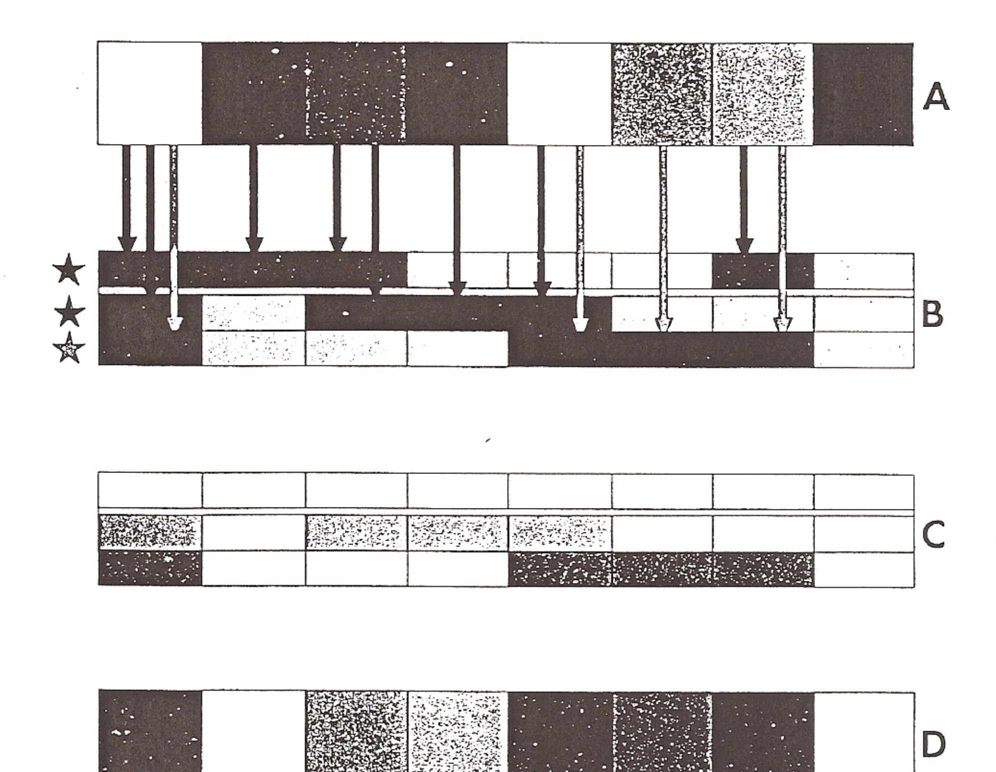
Le révélateur utilisé, visqueux, contient un solvant énergique des halogénures d'argent (thiosulfate de sodium par exemple). L'action de ce révélateur est réglée de telle manière que l'action de développement est immédiatement suivie de l'action de fixage.

Ce révélateur est déposé en couche mince entre le négatif à développer et le support récepteur sur lequel va se créer l'image positive. Sitôt l'action développatrice terminée, les halogénures non développés vont être transformés en complexes argentiques solubles et vont migrer de la couche négative vers la couche positive.

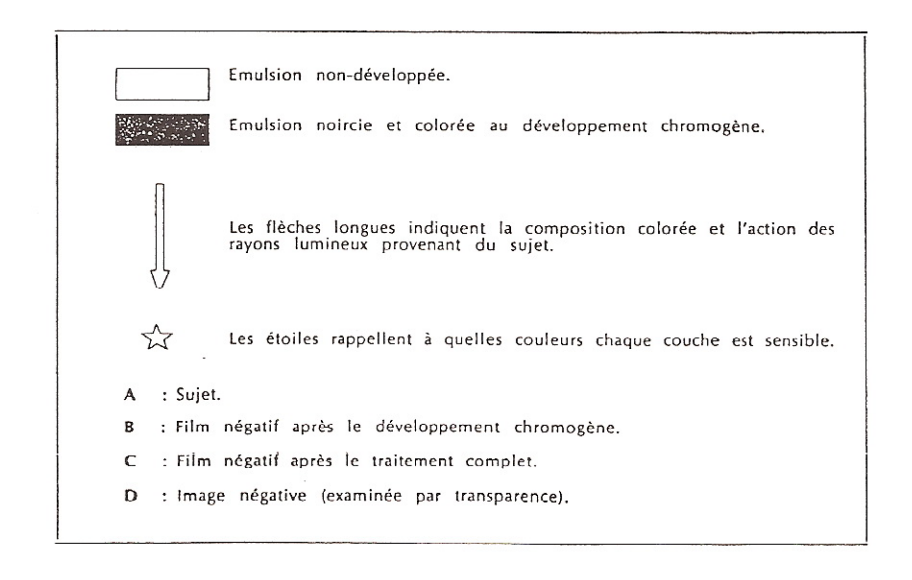
La couche positive contient des germes (nucleïs) qui vont initier la précipitation d'argent métallique à partir du complexe qui a migré et ceci proportionnellement aux parties images, recréant ainsi une image positive.

Ce principe a été récemment appliqué à la photographie en couleur les composés migrant dans ce cas étant des formateurs de colorants.

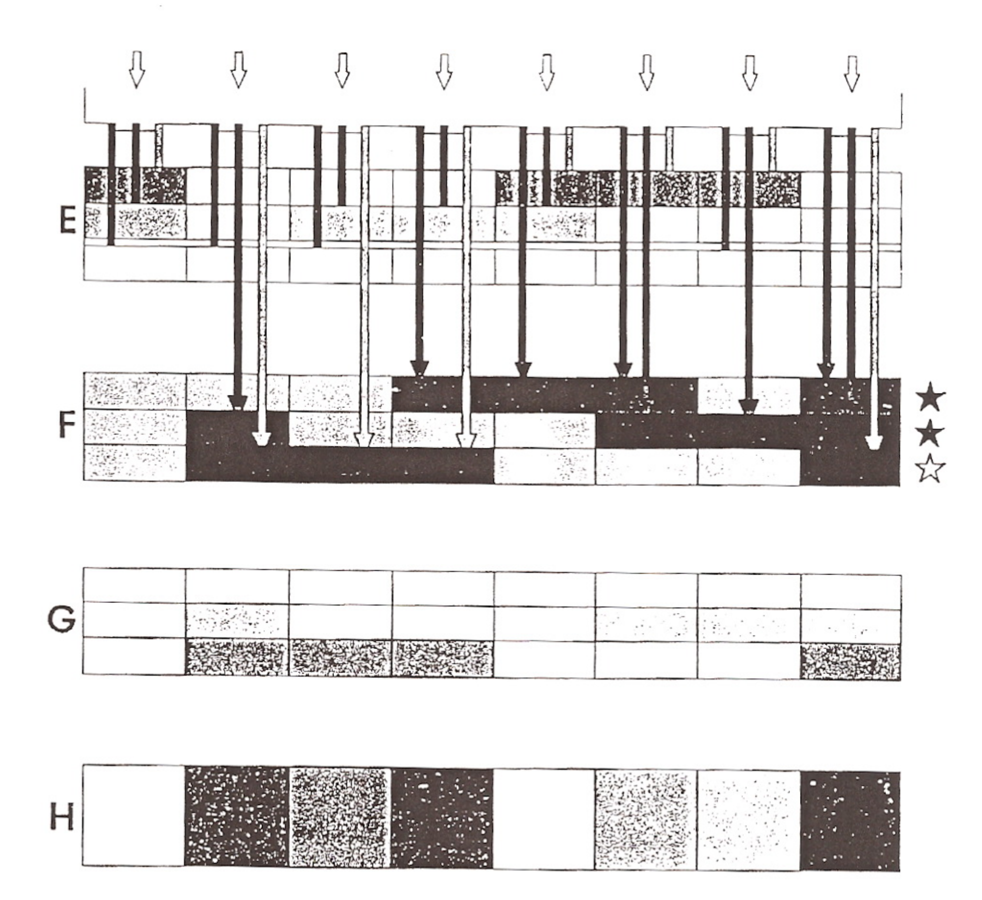
TRAITEMENT COULEUR POSITIF



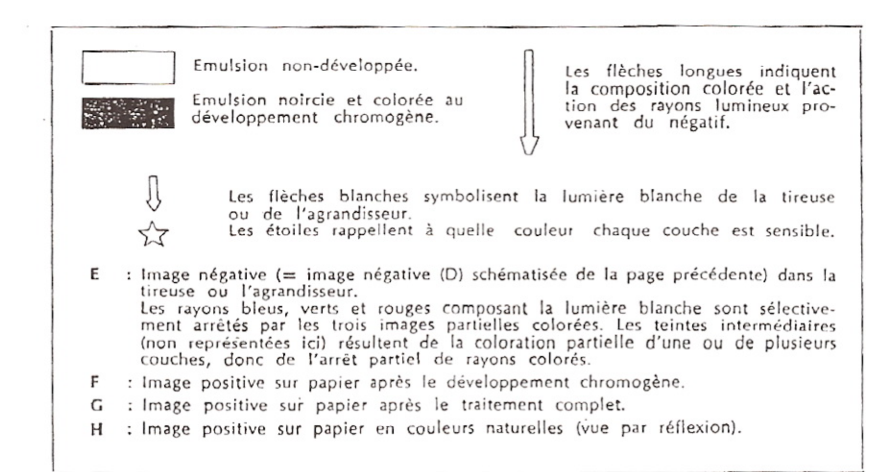
Formation de l'image positive en couleurs



TRAITEMENT COULEUR NEGATIF



Formation de l'image négative en couleurs



Emulsion non-développée.

Emulsion noircie et colorée au développement chromogène.

Les flèches longues indiquent la composition colorée et l'action des rayons lumineux provenant du négatif.

Les flèches blanches symbolisent la lumière blanche de la tireuse ou de l'agrandisseur.
Les étoiles rappellent à quelle couleur chaque couche est sensible.

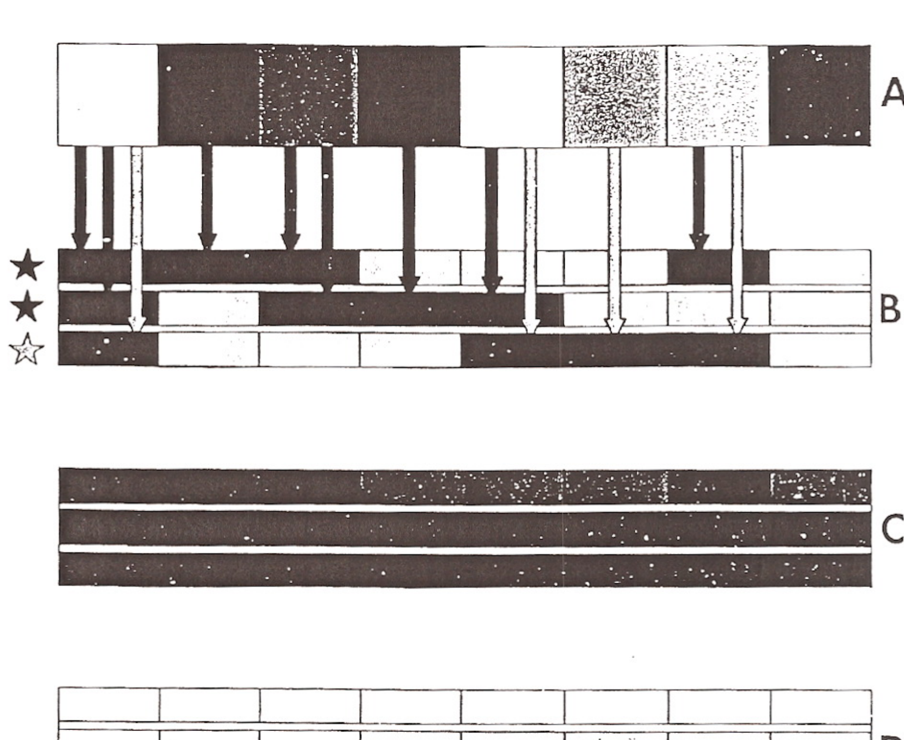
E : Image négative (= image négative (D) schématisée de la page précédente) dans la tireuse ou l'agrandisseur.
Les rayons bleus, verts et rouges composant la lumière blanche sont sélectivement arrêtés par les trois images partielles colorées. Les teintes intermédiaires (non représentées ici) résultent de la coloration partielle d'une ou de plusieurs couches, donc de l'arrêt partiel de rayons colorés.

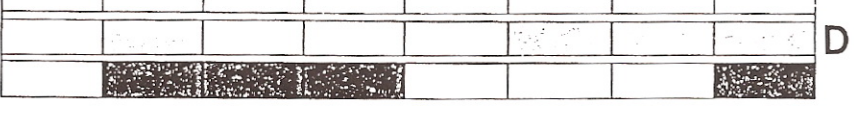
F : Image positive sur papier après le développement chromogène.

G : Image positive sur papier après le traitement complet.

H : Image positive sur papier en couleurs naturelles (vue par réflexion).

TRAITEMENT COULEUR INVERSIBLE







E

Formation de l'image en couleurs sur film inversible

Emulsion non-développée.

Emulsion noircie au premier développement.

Emulsion noircie et colorée au développement chromogène.

Les flèches longues indiquent la composition colorée et l'action des rayons lumineux provenant du sujet.

☆ Les étoiles rappellent à quelles couleurs chaque couche est sensible.

A : Sujet.

Film inversible :

B : après l'exposition et le premier développement.

C : après le développement chromogène.

D : après le traitement complet du film.

E : Image projetée (ou examinée par transparence).

APPLICATIONS :

LES OPÉRATIONS DE LABORATOIRE

TABLE DES MATIERES

I – GÉNÉRALITÉS –

A – ORGANISATION DE LA PROFESSION –

1 – REGLEMENTATION

L'industrie cinématographique française est règlementée par un organisme gouvernemental dépendant d'un ministère (Affaires culturelles), le Centre National de la Cinématographie dont les principales fonctions sont :

a) – maintien de la moralité financière

b) – répartition des aides de l'Etat :

- subvention à la production " films long métrage "
- subvention des travaux d'équipement pour l'exploitation
- subvention aux industries techniques
- avance sur recette (longs métrages)
- prime à la qualité (courts métrages)
- subvention pour favoriser l'exportation
- aide au festival de Cannes
- subvention à l'Institut des Hautes Etudes Cinématographiques

c) – répartition des recettes encaissées dans les salles d'exploitation entre les parties prenantes : fisc, exploitation cinématographique, SACEM, presse filmée...

d) – règlements touchant à l'exercice de la profession, carte professionnelle, approbation des devis de réalisation, contrôle des capacités financières, défense du cinéma en particulier vis-à-vis du concurrent redoutable qu'est la T.V.

B – REPARTITION DES ACTIVITES –

Il est possible de faire la distinction entre 5 groupes principaux d'activité :

1 – PRODUCTION

Conception et production de films sous le contrôle et la règlementation du C.N.C.

Sociétés spécialisées animées par le " Producteur " qui choisit le scénario, dresse le plan de financement devant être approuvé par le C.N.C., et engage l'équipe de production : scénariste, dialoguiste, metteur en scène ou réalisateur, directeur de la photo, ingénieur du son, et chef de l'équipe montage.

Cette équipe dont le metteur en scène est le chef artistique prépare le montage du film et passe ensuite au tournage effectif en extérieur, en studio ou en décor naturel avec l'intervention des Industries Techniques.

2 – DISTRIBUTION

Une société de distribution est chargée de préparer l'exploitation des films terminés. Elle commence la publicité pendant le tournage et passe des contrats d'exploitation avec les théâtres cinématographiques.

De plus en plus, la distribution physique des copies, c'est-à-dire réception du labo, répartition entre les différentes salles, vérification au retour, et envoi pour l'exploitation suivante dans une autre salle est assurée par des sociétés très spécialisées indépendantes des sociétés de distribution proprement dites permettant une rationalisation et un groupage des travaux assurant une efficacité pour un prix de revient minimal.

La société de distribution est le client principal du labo car elle commande les copies et en assure le paiement après avoir reçu des salles le pourcentage de recettes lui revenant.

De plus pour s'assurer des films à distribuer, elle garantit presque toujours une recette minimale au producteur, couverte par des traites qui concourent à l'ensemble du plan financier et dont une partie est remise au labo en paiement des travaux de production.

De sa solvabilité dépend donc l'équilibre financier du labo et une défaillance éventuelle portant toujours sur de grosses sommes peut être durement ressentie par celui-ci.

Un groupement de sociétés s'est effectué en unités plus puissantes pour améliorer les prix de revient en diminuant les frais généraux. (ceci augmentant le risque que prend le laboratoire en accordant des crédits élevés).

3 – VENTE A L'ETRANGER

Elle est assurée par quelques grosses sociétés de production, les filiales des sociétés américaines disposant d'une organisation mondiale, et, surtout par des exportateurs spécialisés.–

Ceux-ci sont en relation avec les distributeurs étrangers achetant les droits d'exploitation dans leur pays.

Selon le nombre de copies cette exploitation peut prendre deux formes :

- copies version française, tirées en France, sous-titrées par le distributeur étranger.

- copies version post-synchronisée, tirées à l'étranger après que le labo chargé des travaux ait reçu du labo français un internégatif image, et qu'il en ait fait effectuer le générique dans sa langue.

La vente à l'étranger, pour de multiples raisons (développement de la production des autres pays, difficultés d'exportation de devises pour certains pays, rareté de tournage en France de scénario à audience mondiale... ne représente plus à l'heure actuelle une part importante des recettes dans l'exploitation des films français.

L'exploitation en langue anglaise d'un film français en Grande Bretagne et aux U.S.A. en assure en général son succès financier.

4 – EXPLOITATION CINEMATOGRAPHIQUE

C'est la branche de la profession qui gère les théâtres cinématographiques et présente donc les films au public.

Constituée par quelques grandes sociétés propriétaires d'une chaîne de salles et par des particuliers propriétaires d'une ou plusieurs salles régionales, souvent rattachées par leur programmation aux grandes organisations.

Le prix des places est soumis au contrôle du C.N.C. et les recettes comptabilisées par ce dernier sont réparties comme mentionné précédemment.

La tendance actuelle, dans le cadre de la compétition avec la télévision est la transformation de grandes salles (telles que Normandie, Gaumont Palace, Rex...) en deux, trois ou quatre salles d'environ 150 à 500 places chacune - offrant au public un éventail plus large de programmes.

La modernisation accompagne cette transformation :

- nouveaux appareils de projection admettant d'énormes bobines, de 1800 m. ou plus, combinés à une automatisation poussée des différentes opérations : allumage, extinction, démarrage des appareils, changement de projecteur etc...

Des complexes de ce genre, entièrement nouveaux sont apparus dans les villes anciennes et aussi dans les villes nouvelles et ont redonné au cinéma un essor vivifiant.

5 – LES INDUSTRIES TECHNIQUES

Cette branche de la profession est organisée en Chambre Syndicale Patronale et fait partie de la Fédération Nationale des Industries du Cinéma et de la Télévision Française, à laquelle adhère également la Chambre Syndicale des Constructeurs de Matériel Cinématographique.

Les Industries Techniques groupent les Laboratoires, les Studios de Prise de Vues, les Auditoria d'enregistrement du son et mettent au service du Producteur, tous les moyens techniques indispensables à la réalisation d'un film et au tirage des copies de série.

Elles sont quelquefois appelées " l'industrie lourde du cinéma " car elles sont composées de firmes stables travaillant toute l'année et employant un personnel fixe assez nombreux, par opposition au personnel des équipes de production qui, à de rares exceptions près, est toujours engagé seulement pour la durée de la production.

C – GENESE D'UN FILM

La naissance d'un film est le résultat d'une suite d'opérations artistiques et techniques dans laquelle le Laboratoire n'intervient qu'à des moments bien définis :

- choix du sujet par le producteur (roman, biographie, pièce de théâtre, sujet original) adaptation pour l'écran, rédaction des dialogues, choix des acteurs, découpage technique, prise de vues et prise de son, traitement du négatif image (laboratoire), montage et mixage (service montage production), étalonnage (laboratoire) tirage et développement des copies (laboratoire) et éventuellement sous-titrage ou post-synchronisation.

Parmi ces opérations, certaines, tout en étant techniques, ne sont pas du ressort du Laboratoire.

1 – DECOUPAGE TECHNIQUE

Il décrit soigneusement la succession des différentes scènes, leur répartition en plans et contre-plans et leur durée relative, les décors prévus, la position de la caméra et ses éventuels mouvements lors de la prise de vues.

Les différents plans sont numérotés dans l'ordre où l'on prévoit qu'ils apparaîtront à l'écran.

Le découpage technique est la représentation écrite du film tel que le metteur en scène l'a imaginé, et dont il a suivi le déroulement dans son esprit (la jurisprudence française reconnaît d'ailleurs le metteur en scène comme l'auteur du film).

Un plan de travail est établi pour fixer avec précision l'ordre dans lequel les différentes scènes seront tournées, et qui n'est pas forcément l'ordre d'apparition à l'écran, compte tenu des exigences de disponibilité d'acteurs, de décors naturels ou en studio, de conditions climatiques spéciales etc...

Cette contrainte de morcellement de l'action au tournage explique qu'il est plus difficile pour un acteur de cinéma d'exprimer un état d'âme que pour un acteur de théâtre pour qui l'action se déroule de façon continue.

Ce fractionnement au tournage justifie le rôle important de la script-girl qui doit veiller avec la plus grande attention à tous les détails, vestimentaires ou autres, qui doivent se retrouver identiques dans ces scènes fragmentées à la prise de vues.

2– MONTAGE

Après le tournage il faut reconstituer le film selon le scénario à l'aide des diverses scènes.

C'est le rôle du chef monteur et de son équipe : reconstitution des séquences, assemblage puis resserrement de celles-ci pour éviter les faux raccords de mouvement et les longueurs inutiles.

La perfection du montage est extrêmement importante et n'est perceptible que par le déroulement sans hiatus de l'histoire racontée par le film. Ceci n'est ressenti que très confusément, et c'est regrettable, par le spectateur qui est plus sensible à la qualité du jeu des acteurs et de la mise en scène.

Le travail de montage sur la bande son est appelé mixage et est également extrêmement long.

3 – POST-SYNCHRONISATION

Soit que les conditions de tournage n'aient pas permis l'enregistrement correct du son, soit qu'il s'agisse de réaliser la version française d'un film étranger, (ou encore pour remplacer la voix d'un acteur étranger dans une coproduction), la post-synchronisation ou doublage (enregistrement de paroles en synchronisme avec une image déjà existante) est largement utilisée en production cinématographique.

Les séquences à post-synchroniser sont découpées en longueur d'environ 1 minute et chargées en boucle sur un projecteur qui répète ainsi, en continu, la séquence désirée.

Les acteurs ayant tourné la scène originale, ou ceux retenus pour leurs qualités de voix et de diction se rapprochant de celles des acteurs du film étranger à doubler, s'installent devant l'écran de projection et sous la direction du metteur en scène s'appliquent à dire leur texte en synchronisme avec le mouvement des lèvres sur l'écran.

Très souvent, les répétitions pour réaliser le synchronisme sont facilitées par l'utilisation [illegible]

Cette bande projetée et défilant horizontalement sous l'écran indique très lisiblement le texte à prononcer, avec des repères très visibles signalant le début et la fin des mouvements des lèvres des acteurs sur l'écran.

Cette mécanisation entraîne malheureusement bien souvent un débit plus monotone des acteurs de post-synchronisation.

Pour des raisons de prix de revient et de facilité de tournage, l'usage tend à se répandre de n'enregistrer les paroles des acteurs que dans un auditorium de post-synchronisation, sans même un son témoin *médiocre* pris au tournage (méthode italienne).

Ceci est dommage, car il ne peut s'ensuivre qu'une baisse de la qualité artistique des films.

II — LE LABORATOIRE ET SES TECHNIQUES

A — LE " NEGATIF " DANS LE LABORATOIRE

La technique du laboratoire est la somme d'un ensemble de techniques variées, chimiques, photographiques, physiques et mécaniques, souvent assez sophistiquées.

Le laboratoire cinématographique est une usine mettant à la disposition d'un producteur de films tous les moyens lui permettant d'arriver jusqu'à l'exploitation commerciale de sa production.

Le laboratoire développe les négatifs tournés et les tire en positif, procède au montage négatif, réalise directement ou indirectement les effets spéciaux (trucages), les titres, les génériques et tire les copies commerciales (et c'est là sa vocation principale) dans les différents formats.

La production et le laboratoire sont naturellement deux partenaires indissolublement liés et qui doivent toujours coopérer.

1 — ESSAIS PRELIMINAIRES

Lorsque la préparation d'un film est terminée, le directeur de la photographie prend contact dans le laboratoire que le producteur a choisi (choix lié aux qualités propres du laboratoire et à l'importance des crédits accordés par celui-ci au producteur) avec le chef étalonneur (ou avec un agent technico-commercial de haute technicité) pour mettre au point le programme des essais préliminaires.

En général, une production loue sa ou ses caméras à une maison spécialisée, et il est nécessaire de vérifier que le matériel est en bon état, que la série d'objectifs est homogène et de bonne qualité.

Le directeur de la photographie fait alors procéder à la réservation chez le fabricant d'émulsion à une quantité suffisante et homogène de film négatif et détermine avec le laboratoire par des essais préliminaires la qualité de maquillage, la tendance de tirage (teintes chaudes ou teintes froides) désirée par la production etc...

2 — CHEMINEMENT DU NEGATIF DANS LE LABORATOIRE (jusqu'au tirage des rushes)

Le tournage proprement dit peut alors commencer et à la fin de la 1ère journée on dispose de négatifs image à développer et d'un son magnétique qui a été enregistré en synchronisme avec l'image (bande magnétique perforée 16 mm ou 35 mm pour l'utilisation en studio et bande lisse 6,25 mm pour l'utilisation sur magnétophone portatif en extérieur, divers dispositifs étant disponibles pour assurer le synchronisme).

L'origine du départ de synchronisme est obtenue grâce à la claquette qui permet d'avoir un repère, optique et sonore, simultanément à l'identification de la scène qui va être tournée.

Avant de procéder au développement du négatif il est nécessaire de vérifier sa qualité physique, une perforation déchirée pouvant provoquer une cassure en machine et causer ainsi la perte de l'élément en cours de développement.

Après le développement qui doit être strictement conforme aux normes du fabricant d'émulsion, les bobines traitées sont à nouveau contrôlées pour s'assurer que la machine à développer n'a pas été la cause de détérioration physique et que par ailleurs le film ne présente pas de rayures provenant de la prise de vues (dans ce cas, il est nécessaire de prévenir la production au plus vite pour faire vérifier l'état des caméras).

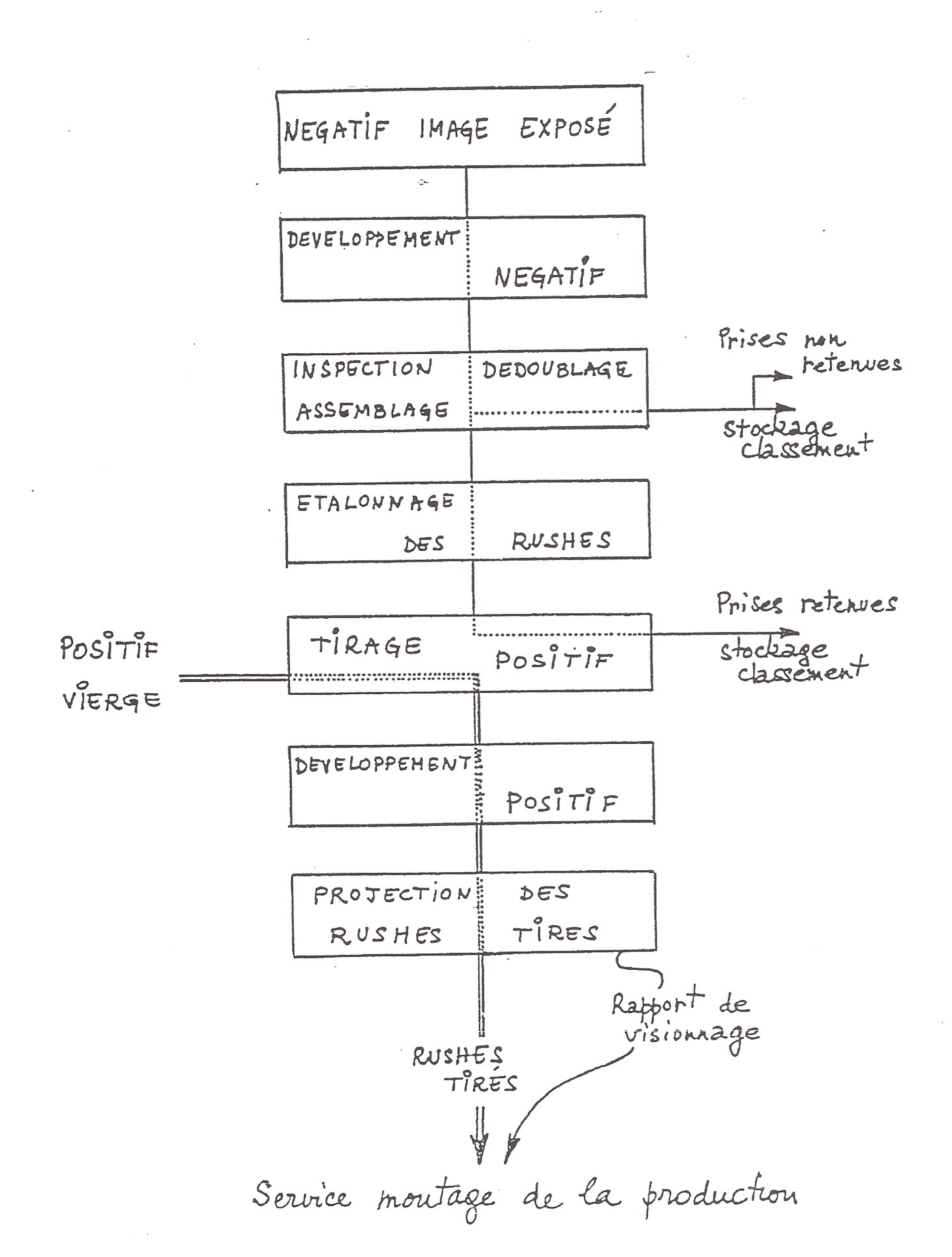
Le développement négatif couleurs ne permet pas de corriger une erreur de prise de vues. Dans quelques cas seulement, extrêmement rares, le directeur de la photographie peut demander au laboratoire un surdéveloppement pour compenser un manque de lumière dû à des conditions opératoires difficiles, malgré les inconvénients qui en résultent (augmentation de la granulation, modification du contraste).

Les éléments négatifs sont alors remis au service de production (ou service premier positif ou service des rushes) qui va procéder au dédoublage du négatif développé et au tirage positif des scènes choisies en fonction du rapport de la scripte qui a indiqué dans son rapport journalier les scènes jugées intéressantes par le réalisateur.

Les monteuses de ce service séparent donc les scènes individuelles, prélèvent celles à tirer, marquent d'une croix l'emplacement de la claquette sur le négatif image, collent les scènes dans l'ordre du scénario en bobines complètes qui sont ensuite remises à l'étalonneur en charge de la production considérée.

Un positif est tiré et développé puis vérifié par l'étalonneur lui-même qui décide d'une éventuelle correction et d'un retirage.

Cheminement du négatif dans le laboratoire



Pendant ce temps la bande magnétique, dite bande mère a été remise à un auditorium spécialisé qui procède au repiquage des scènes choisies sur une autre bande magnétique (toujours en 35 mm perforé pour les films réalisés dans ce format image) avec naturellement leur top de départ nécessaire à la synchronisation.

Les négatifs images portent toujours sur une des manchettes extérieures aux perforations des numéros photographiés, croissant régulièrement, dits de piétage qui repèrent successivement chaque longueur d'un pied (30,5 cm). Ces numéros sont soigneusement reproduits sur le positif image car leur absence éventuelle rendrait le montage négatif du film terminé bien plus long et difficile.

On dispose donc en fin de journée d'une bande image et d'une bande son portant chacune un repère de départ pour la projection ou le montage et qui vont être livrées au client pour une projection de travail à laquelle assistera l'agent de liaison (ou le chef étalonneur) responsable de la production qui recueillera les observations de cette production.

Ce processus se reproduisant ainsi durant toute la production, et le service de montage du client commençant à procéder au montage par séquences des rushes livrés, le réalisateur, peu de temps après la fin du tournage, dispose d'une copie de travail images, qui, sans être définitive est cependant très avancée.

3 — MONTAGE — SYNCHRONISATION

Pendant ce même temps ont été effectuées les opérations d'enregistrement de la musique, des effets sonores et de préparation des mixages. Le mixage définitif des différents éléments sonores qui a été accepté par le réalisateur est alors reporté sur un négatif son optique indispensable au tirage des copies de série.

Après développement de ce report optique, la copie de travail image définitive et le négatif son optique sont remis au service montage négatif du laboratoire qui va procéder aux opérations suivantes :

- montage du négatif sur une synchroniseuse à deux tambours pour conformation avec le positif modèle par repérage des numéros de bord (piétage) et identification rigoureuse des images de début et de fin de scène pour un synchronisme absolu.

Les différents éléments du négatif image ainsi repérés et coupés sont collés les uns aux autres avec le plus grand soin (une collure trop large se traduisant par une ligne blanche sur le positif, une collure trop étroite se traduisant par un risque de rupture lors des diverses opérations de laboratoire).

Le négatif image terminé, il reste à le synchroniser avec le négatif son optique à l'aide d'un synchroniseuse à 4 tambours dentés qui reçoit le positif image de travail, le négatif image et le négatif son optique portant un repère de synchronisation.

La monteuse dispose en tête les amorces dites " opérateur " qui portent les titres d'identification de la bobine, les repères pour la machine à tirer et pour l'appareil de projection, puis elle déroule entièrement les bobines en vérifiant que la synchronisation est parfaite entre le positif de travail et le négatif image et monte alors les amorces normalisées de fin de bobine sur les deux négatifs image et son.

Une ouvrière vérificatrice dresse enfin un dernier rapport sur l'état physique du négatif après montage qui servira à détecter les dommages ultérieurs que pourrait subir le négatif original.

Toutes ces opérations exécutées, le service du montage négatif livre un négatif monté composé d'un certain nombre de bobines image et de bobines son (chacune d'un métrage inférieur à 600 m) aux différents services d'étalonnage, de nettoyage et de tirage en vue de l'obtention de la copie zéro.

L'attention doit être attirée sur le fait que toutes ces opérations doivent être effectuées avec le plus grand soin et dans des conditions de propreté méticuleuse.

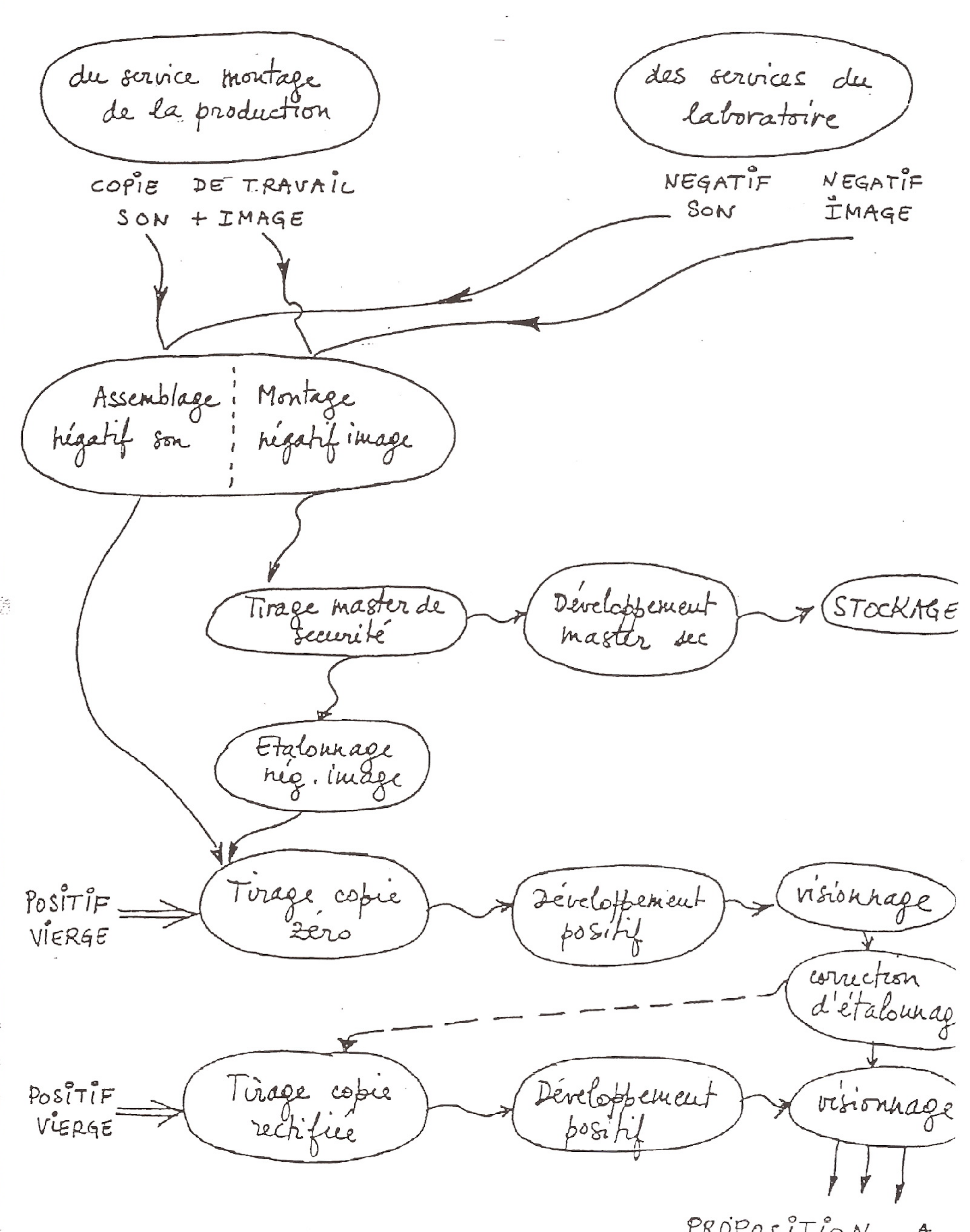
B — TIRAGE DE LA COPIE ZERO — ETALONNAGE

La copie zéro est la première copie étalonnée qui est présentée à l'équipe de production et qui, après concertation et décision éventuelle de correction, va permettre le tirage des copies d'exploitation.

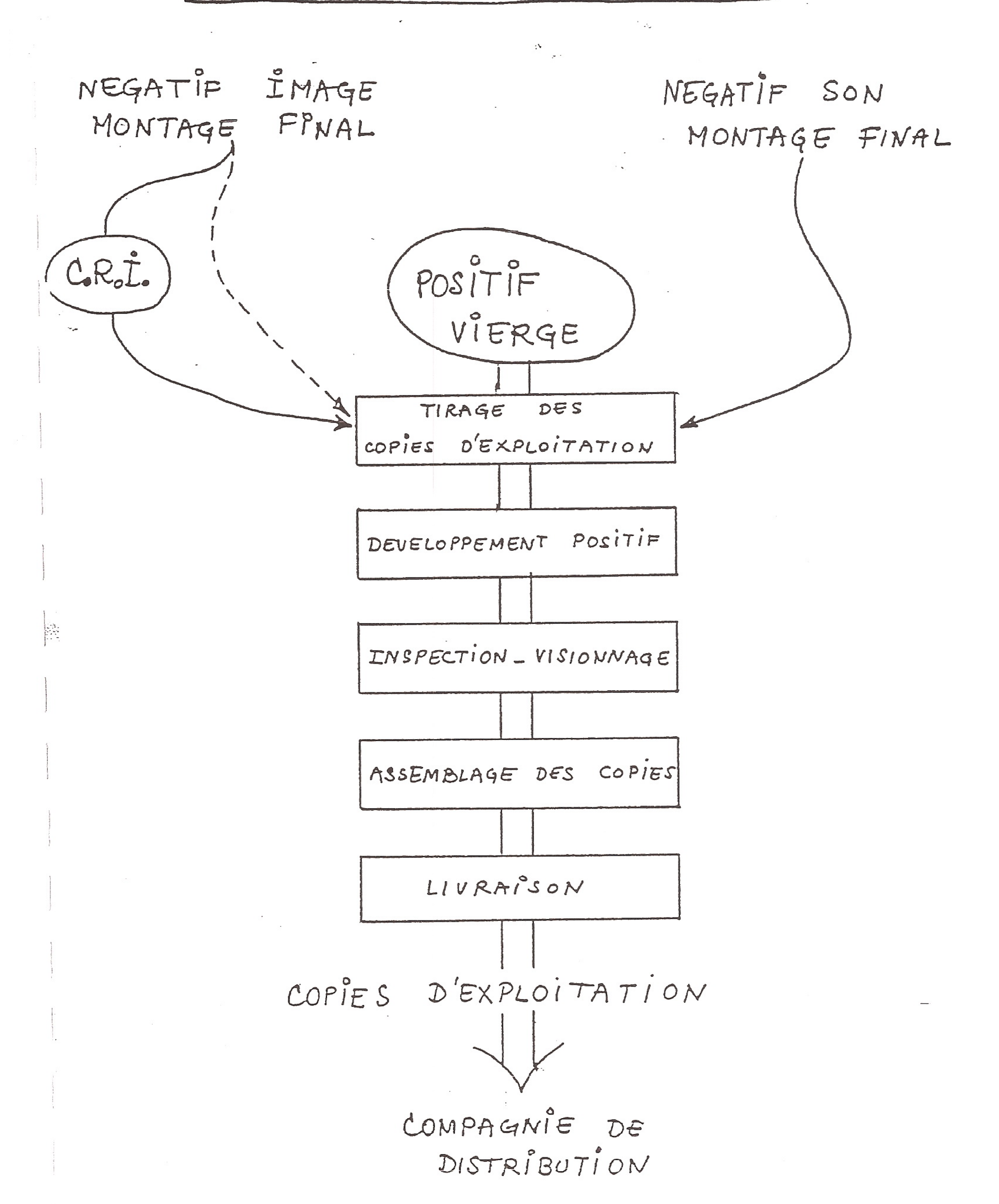
Un négatif monté est encoché scène par scène, ces encoches servant à actionner le variateur de lumière de la machine à tirer (par un ouvrier spécialisé ou par l'étalonneur lui-même).

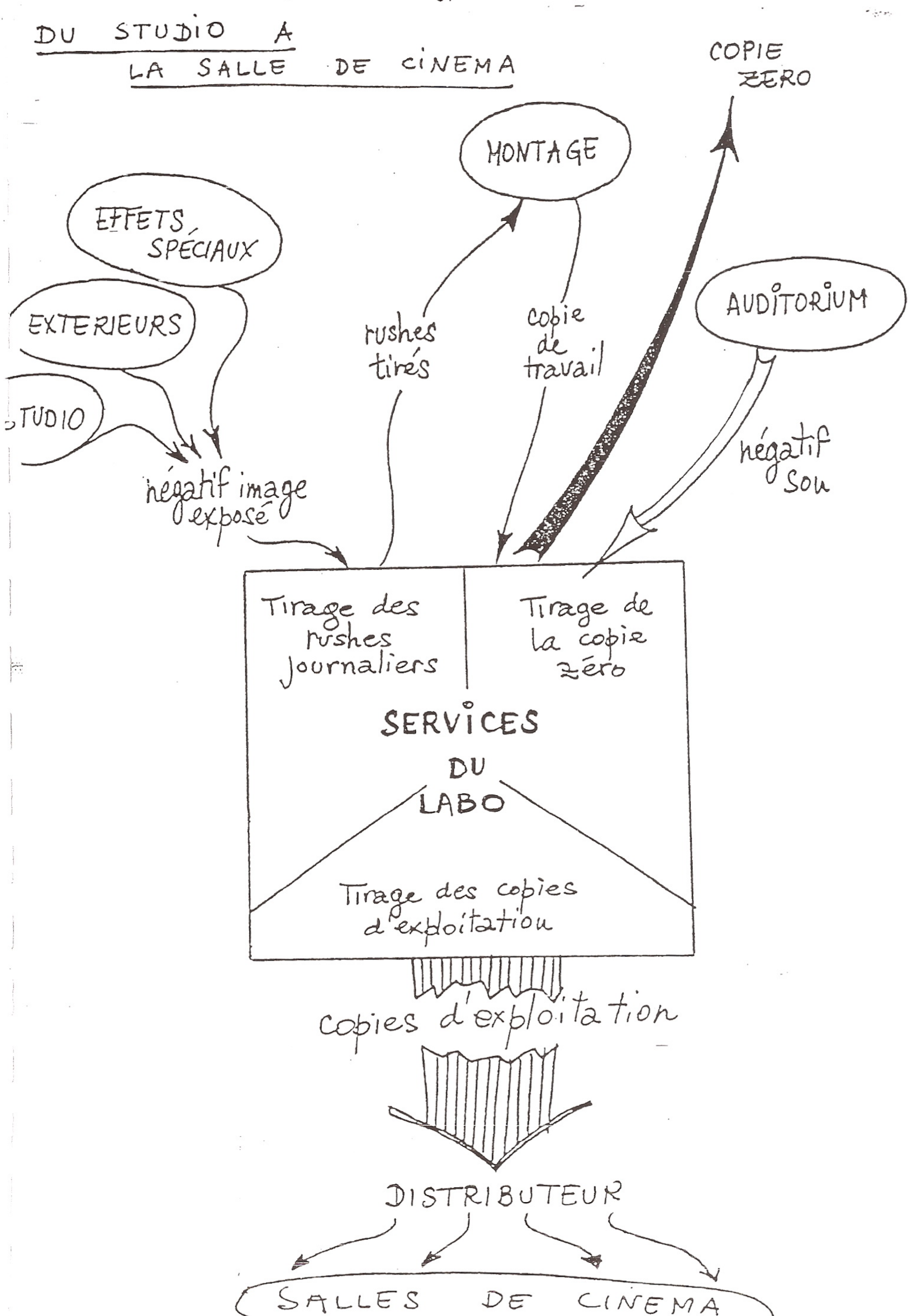
L'encochage est une méthode loin d'être parfaite car étant faite à 6 images d'une collure reliant 2 scènes diminue la résistance du négatif et peut être source de rupture.

TIRAGE DE LA COPIE ZÉRO



TIRAGE DES COPIES D'EXPLOITATION




DU STUDIO A LA SALLE DE CINEMA
COPIE ZERO
MONTAGE
EFFETS SPÉCIAUX
EXTERIEURS
STUDIO
AUDITORIUM
rushes tirés
copie de travail
négatif son
négatif image exposé
Tirage des rushes journaliers
Tirage de la copie zéro
SERVICES DU LABO
Tirage des copies d'exploitation
copies d'exploitation
DISTRIBUTEUR
SALLES DE CINEMA

D'autres méthodes ont été envisagées pour actionner le variateur de lumière, (collage de pastilles métalliques agissant sur un détecteur de proximité) mais ne sont pas non plus parfaites et l'encoche reste presque universellement utilisée.

Par ailleurs, pour les tirages de série, l'utilisation d'un duplicata négatif tirable à lumière unique réduit considérablement les risques.

L'ETALONNAGE consiste à déterminer scène par scène les caractéristiques de couleur et d'intensité de la lumière de tirage nécessaire pour obtenir un positif correct, car, quelque soit la régularité de la prise de vues, il intervient toujours d'une scène à l'autre (ou d'un décor à l'autre) des variations qu'il est indispensable de corriger (variation des projecteurs, caractères différents des prises de vues studio et extérieur...) absorption colorimétrique différente entre les objectifs des caméras, légers déséquilibres de l'émulsion négative, ou très légères variations, tout en restant dans les normes, du traitement...).

1 – ETALONNAGE N/B

L'étalonnage se fait à l'oeil, l'étalonneur n'ayant à apprécier que la densité du négatif, l'oeil acquièrant avec l'entrainement une sensibilité quasi égale à celle d'un instrument de mesure.

2 – ETALONNAGE COULEUR

Il est très difficile d'étalonner à l'oeil car le négatif couleur, comportant un masque, rend toute appréciation de ses caractéristiques autres que sa densité, pratiquement impossible.

L'étalonneur ne peut donc travailler efficacement que sur une image positive.

Deux méthodes peuvent être alors utilisées.

a/ - Etalonnage soustractif (filtres de couleur complémentaire)

Une chenille constituée par une succession de 2 images prélevées à la fin de chaque scène sert de négatif pour tirer une série de positifs à différents réglages.

Les réglages sont déterminés par l'intermédiaire d'une bande cache de 35 mm. dans laquelle sont percés, par exemple, des trous circulaires de 20 mm. de diamètre espacés régulièrement et sur lesquels vont être agrafés 2 filtres correcteurs de couleur (C, M ou J) et 1 filtre gris neutre : le filtre neutre servant à compenser les différences de densité des négatifs ainsi que les absorptions d'intensité lumineuse des filtres correcteurs de couleur.

La variation des caractéristiques colorimétriques de la lumière de tirage est réalisée par l'intermédiaire des filtres correcteurs de couleur choisis dans une gamme allant en général de 5 à 100 (par progression de 5).

On considère que les filtres jaunes n'absorbent pratiquement pas de lumière, que les filtres magenta équivalent à une variation d'une demi-lumière (soit un gris neutre de 0,025) par progression de 5, tandis que dans les mêmes conditions les filtres cyan correspondent à une lumière (soit un gris neutre de 0,05).

Il faut donc, à chaque fois, que l'on augmente d'une valeur 5 la densité d'un filtre cyan, diminuer la densité du filtre gris neutre d'une valeur 0,05 pour conserver la même intensité lumineuse de la lumière de tirage.

L'établissement d'une bande corrigée donne donc lieu à des calculs simples mais inévitables et il se produit assez facilement des erreurs.

L'étalonneur détermine d'abord la lumière moyenne à utiliser par comparaison des négatifs déjà étalonnés et tirera la chenille 2 ou 3 fois pour obtenir un positif encadrant la valeur de densité correcte.

Il procèdera ensuite, souvent selon une méthode qui variera avec son expérience, à d'autres tirages en faisant varier les trois lumières complémentaires et en notant soigneusement les corrections effectuées à chaque tirage. Il arrive donc ainsi à disposer d'éléments de correction lui permettant d'encadrer la bonne valeur pour chaque scène et fait établir alors, la bande filtre qui lui permet de tirer la chenille et de juger s'il peut procéder au tirage de la bobine elle-même.

Dans le système négatif/positif, le développement chromogène conduit à une image de couleur complémentaire à celle de l'illumination reçue au tirage.

Par exemple : une lumière de tirage magenta conduit à la formation de colorant jaune et de colorant cyan soit finalement à la formation d'une image verte.

Il s'ensuit donc, en système de tirage négatif/positif, que la suppression d'une dominante s'obtient par augmentation de la densité du filtre correcteur de même couleur (et vice et versa) - par exemple : la suppression d'une dominante cyan s'obtient par augmentation de la filtration cyan qui conduit à la formation d'une image plus rouge.

— dans le système de tirage inversible couleur, le développement chromogène conduisant à la formation d'une image de couleur identique à celle de l'illumination reçue la correction se fera d'une manière inverse à celle du système négatif/positif, c'est-à-dire que la suppression d'une dominante s'obtient par diminution de la densité du filtre correcteur de même couleur (et vice et versa).

Par exemple : la suppression d'une dominante bleue s'obtient par diminution de la filtration bleue (filtre magenta + filtre cyan).

Il est nécessaire par ailleurs de pouvoir introduire des corrections constantes pendant le cours d'un tirage pour remédier aux variations d'émulsions et à celles des lampes de tirage : ceci est possible grâce au " préfiltre " composé de filtres gélatine neutres et colorés intégrant la somme des corrections émulsion et lampe.

Ces préfiltres sont très vulnérables et se décolorent vite puisqu'exposés constamment pendant le temps d'ouverture de l'obturateur.

b/ - Etalonnage additif

Les irrégularités des filtres, l'affaiblissement de leurs densités, les risques d'erreurs durant le long travail de constitution de la bande filtre, le risque de voir ces filtres se détacher ensuite de la bande ont conduit les fabricants de matériel à mettre au point une méthode de variation d'étalonnage additive, c'est-à-dire dans laquelle on utilise des faisceaux lumineux rouge, vert et bleu, dont on peut moduler l'intensité d'une manière contrôlable. La combinaison de ces trois faisceaux primaires modulés dans le plan d'une image permet ainsi d'effectuer une correction additive des couleurs.

La possibilité de modulation de chacun des trois faisceaux est donnée par la " light valve " ou vanne de lumière mise au point par la Société Bell et Howell.

Une tireuse additive comprend donc un ensemble de 3 vannes modulant chacune un faisceau primaire, et qui est commandé par une bande perforée de fabrication très simple et qui permet de disposer de 50 lumières de tirage pour chaque primaire.

De plus, il existe un organe supplémentaire de réglage, le trimmer qui comprend 24 lumières de tirage, et qui permet de faire varier l'intensité de base des trois faisceaux lumineux sans altérer la gamme des lumières d'étalonnage ; il a en fait le même rôle, mais avec beaucoup plus de fiabilité, que le préfiltre en étalonnage soustractif.

Le principe fondamental de l'étalonnage couleur reste évidemment le même en étalonnage additif, compte tenu de l'utilisation de faisceaux lumineux de couleurs primaires.

Dans le système de tirage négatif/positif la suppression d'une dominante s'obtient par augmentation de la composante lumineuse de même couleur.

Par exemple : la suppression d'une dominante jaune s'obtient par augmentation relative de l'intensité des faisceaux lumineux rouge et vert.

Dans le système de tirage inversible couleur, la suppression d'une dominante s'obtient par diminution de la composante lumineuse de même couleur.

L'étalonneur va donc devoir apprécier maintenant les dominantes en couleurs primaires et non plus en couleurs complémentaires. Une scène trop magenta sera en fait trop rouge et trop bleu, une scène trop jaune sera en fait trop rouge et trop verte.

Par ailleurs, la correction couleur se faisant par une augmentation ou une diminution de la composante lumineuse, il sera nécessaire de compenser simultanément l'intensité des trois faisceaux afin de conserver une densité correcte sur la copie, ainsi l'étalonnage de base d'une scène se lisant R 25 V 20 B 17 et l'étalonneur trouvant une dominante rouge et devant apporter une correction rouge de 3 points le nouvel étalonnage se lira : R 27 V 19 B 16 par augmentation de 2 points en rouge et diminution simultanée de 1 point en vert et en bleu, afin que l'intensité lumineuse générale n'augmente pas.

c/ - Etalonnage électronique (système additif)

L'étalonnage classique par tirage d'échantillons est peu à peu supplanté par l'utilisation de machines à étalonner électroniques basées sur un principe identique à celui de la formation et de l'analyse des images en télévision.

Ces machines donnent directement d'une image négative une image positive observable sur un récepteur de télévision.

Les circuits de la machine sont ainsi disposés qu'il est possible de faire varier à volonté dans l'image formée sur le tube TV, la proportion de chacune des trois couleurs primaires à l'aide de trois boutons gradués.

En actionnant tour à tour chacun des 3 boutons rouge, vert, bleu, l'étalonneur peut ainsi modifier les composantes de l'image positive qu'il a sous les yeux.

Chaque graduation des boutons correspond naturellement à une unité de lumière des tireuses additives et dès qu'une scène paraît satisfaisante, l'étalonneur relève les trois valeurs R.V.B. correspondant à l'étalonnage de la scène considérée.

Afin de conserver une référence de couleur stable et d'éviter par ailleurs un glissement continu du jugement de l'opérateur, un projecteur à image fixe projette sur un petit écran situé à côté du récepteur TV, un positif de l'image type dont se sert chaque laboratoire, et qui permet dans une grande mesure de supprimer les erreurs d'appréciation toujours possibles et d'obtenir que le premier étalonnage soit très approché du résultat final.

Il est possible évidemment de combiner chenille et étalonnage électronique, afin d'éviter de manipuler le négatif dans toute sa longueur.

Selon les difficultés rencontrées, les effets recherchés, les exigences du Directeur de la photographie et l'habileté de l'étalonneur, à la deuxième rectification d'étalonnage la copie sera très acceptable et à la troisième sera au point.

C — CONTROLE DU LABORATOIRE

Le laboratoire doit maintenir dans le temps la stabilité de ses réglages, c'est-à-dire, obtenir que ses développements négatifs soient toujours conformes au standard fixé par le fabricant d'émulsion et les positifs tirés d'un même négatif à différentes époques soient pratiquement identiques entre eux.

1 — ELEMENTS A CONTROLER

Trois éléments principaux avec lesquels le laboratoire travaille sont susceptibles de varier dans le temps : la pellicule vierge, la lampe de tirage et le traitement.

- Malgré les efforts considérables des fabricants de pellicule, les émulsions peuvent présenter quelques légères variations d'un couchage à l'autre qui se traduisent par des différences de réglage au niveau des tireuses.

- Le traitement photographique comporte divers bains qui sont des solutions de produits chimiques dissous dans l'eau. Il est indispensable de s'assurer de la qualité de ces produits et de maintenir leurs concentrations respectives dans les normes afin de maintenir un développement stable.

- Les lampes utilisées dans les tireuses sont des lampes à incandescence à haute intensité lumineuse et ont de ce fait une durée de vie relativement courte (environ 15 jours) pendant laquelle leur intensité lumineuse diminue progressivement et qu'il faut corriger en conséquence.

Ces trois facteurs importants doivent être contrôlés et maintenus dans des limites étroites. On dispose pour cela d'un élément fixe et stable : le négatif-test ou négatif-type.

Ce négatif-type est composé par chaque laboratoire à l'aide d'une tête de femme photographiée en gros plan et de 4 à 6 plages gris neutre disposées dans le même champ, dont les densités sont en progression logarithmique et de dimensions suffisantes pour pouvoir être lues au densitomètre.

Les conditions de prise de vues et de développement sont soigneusement contrôlées afin que la densité du négatif soit optimale. Il en est ensuite tiré un positif aussi parfait que possible qui sera l'image " positive type ".

La stabilité de fabrication du laboratoire sera assurée tant que les valeurs primitives d'étalonnage du négatif type conduiront à l'obtention d'une image positive pratiquement identique au positif type soigneusement conservé.

2 – REGLAGE DES EMULSIONS POSITIVES

Ces réglages seront entrepris par comparaison avec une émulsion choisie comme type. Tout d'abord, par l'impression et le développement de coins sensitométriques comparatifs sur chacune des deux émulsions, le laboratoire de contrôle déterminera de façon approchée les modifications de réglages à apporter à la nouvelle émulsion par rapport à celui de l'émulsion type.

La vérification et la précision définitive du nouveau réglage seront entrepris par le tirage et l'observation d'un positif type tiré à partir du négatif type sur les 2 émulsions. Les corrections de lumière de tirage par rapport à l'émulsion-type seront les premiers éléments à inscrire sur le trimmer des tireuses du laboratoire.

3 – REGLAGE DES TIREUSES

Le négatif type va servir ensuite à régler les tireuses entre elles, par l'appréciation des corrections de couleur et de densité à apporter au positif type tiré sur chacune des machines pour les rendre identiques. Cette correction sera appréciée en points ou lumières.

L'égalisation des tireuses est primordiale, car le tirage des copies par grandes séries, s'effectue en tirant par exemple la bobine 1A 10 fois sur la machine n° 4, la bobine 1B 10 fois sur la machine n° 5 etc... il serait désastreux que lors du montage en 600 m. de la 1A et de la 1B, le spectateur perçoive la différence à la collure. Aussi bien, lorsque l'on tire d'après des négatifs de 600 m. le saut aurait lieu lors du passage d'un projecteur à l'autre.

Le réglage des tireuses à l'aide du négatif est repéré à la cellule photo-électrique et inscrit au voltmètre de la machine. Les contrôles dans la journée sont faits ensuite par vérification du voltmètre, ou mesure à la cellule si une malfaçon est constatée.

C'est en définitive la somme algébrique des corrections d'émulsion qui sera inscrite sur le trimmer de chaque machine et qui apportera aux tirages les corrections nécessaires pour assurer la stabilité des étalonnages.

4 – CONTROLE DU TRAITEMENT

Après les réglages de l'émulsion positive et des tireuses il est nécessaire de veiller à la constance du développement à l'aide de deux contrôles :

a - contrôle chimique

b - contrôle photographique

a/ Le contrôle chimique consiste à analyser périodiquement les divers bains de traitement et à comparer les résultats aux normes prescrites. Pour conserver une qualité constante un traitement doit être dans un état qui est légèrement différent de l'état de départ, puisqu'apparaissent certains produits d'oxydation du révélateur, ou apportés par l'émulsion elle-même. Cet état d'équilibre est atteint et maintenu par l'apport continu durant le développement d'une certaine quantité, bien déterminée de bain de renouvellement (de renforcement), dont la composition soigneusement choisie, permet de compenser exactement la consommation due au développement.

Lorsque l'analyse chimique montrera que la teneur des constituants se modifie on rectifiera le débit horaire de renouvellement et éventuellement on réajustera la composition par un rajout du composé trouvé déficitaire.

Parmi les autres contrôles chimiques, le maintien dans les normes de la valeur du pH et de la température de chaque bain sont des facteurs extrêmement importants pour la régularité du développement.

b/ - Le contrôle photographique se fait d'une part en développant régulièrement par exemple : toutes les 2 heures, un positif tiré du " négatif type " et en s'assurant que sa qualité est conforme à celle du positif-type, toute apparition de dominante colorée ou toute variation de densité étant un indice de déviation probable du système (tirage ou développement).

Il se fait d'autre part grâce au développement de coins sensitométriques impressionnés au préalable (de manière à avoir une image latente stabilisée).

Chaque coin est minutieusement lu au densitomètre et les courbes ainsi obtenues sont comparées au standard sensitométrique fourni par le fabricant d'émulsion.

Ce n'est qu'après ces divers contrôles chimiques et sensitométriques que le laboratoire peut, sans crainte pour la qualité des films traités, procéder au développement des divers éléments, négatifs inters, positifs ou inversibles dans les bains appropriés.

III – ETUDE DU MATERIEL DE LABORATOIRE

A/ SOURCES D'ENERGIE

- Electricité : alimentation de tous les moteurs et résistances de chauffe - triphasé 220/380 V. puissance nominale d'un grand laboratoire variant de 300 à 500 kW.

- Chaleur : nécessaire aux sécheuses, à la mise à température des bains etc... (échangeurs de température, vapeur basse pression - 100 à 150 g) puissance calorifique : 2 à 3 millions de calories/h. consommation annuelle plus de 800 tonnes de fuel léger.

- Eau : lavage des films et contrôle des températures eau de ville, puits forés entre 20 et 60 m. pompage d'eau de rivière. consommation horaire 100 à 200 m3.

- Eau réfrigérée : contrôle des températures

- Air comprimé : élimination des poussières en tireuses, essoreurs, servo-moteurs, etc... Il doit être soigneusement filtré et deshuilé

- Vide : aspiration sur certaines machines à développer

De plus une certaine quantité d'énergie est absorbée pour réaliser la climatisation des locaux, (contrôle du taux d'humidité et de la température) en général 22° C et 65 % d'humidité relative.

B/ MACHINES A DEVELOPPER

La machine à développer est le matériel de base du laboratoire.
C'est le plus encombrant (il nécessite le plus d'installations annexes), le plus onéreux, et le plus diversifié parce que souvent créé et construit par les laboratoires eux-mêmes.

1 – Rappel historique –

Aux temps héroïques du cinéma : longueurs maximales développées allant de 50 à 75 m., enroulées en hélice sur des cadres en bois, gélatine à l'extérieur. C'est l'opérateur qui jugeait lui-même du moment opportun de l'arrêt du développement (examen devant une lampe rouge).

Les résultats étaient naturellement très irréguliers avec une production horaire très faible.

Les premières exigences étant de réaliser un traitement continu et homogène, il a donc été imaginé d'utiliser un support de film non gélatiné servant de raccord intermédiaire entre chaque bobine à développer et restant dans la machine de traitement entre chaque opération de développement (support " amorce ").

La première machine conçue pour ce principe était donc très simple : tubes et diabolos schématisés dans la figure 1.

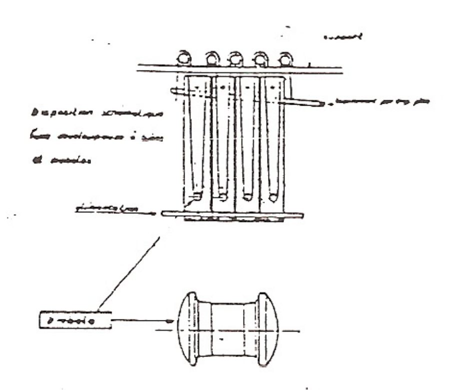


Fig. 1

Un cadre rigide supportait des axes horizontaux sur paliers, portant un galet denté recevant le film et un pignon denté entraîné par une chaîne de bicyclette courant tout le long de la machine.

Le film disposé sur les galets dentés était tendu par des diabolos d'un poids de 300 g. environ et plongeait dans une succession de tubes en ébonite contenant les solutions de traitement (introduites par le bas et évacuées par un trop-plein supérieur).

La pellicule était suffisamment tendue par le poids des diabolos pour être entraînée à une vitesse d'environ 10 m./minute.

De telles machines ont fonctionné jusqu'en 1940.

Inconvénients : les diabolos portaient sur la gélatine mouillée d'où risques d'arrachement et impossibilité d'augmenter la vitesse de traitement.

Il a donc été nécessaire de créer un système évitant le contact de la gélatine du film avec les galets en enroulant le film en spirale autour de deux axes parallèles (figure 2) ceci conduisant du même coup à une augmentation de plus du double du métrage de film contenu dans la même cuve.

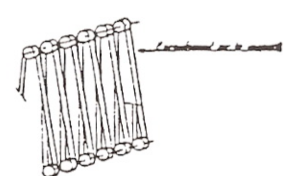


Fig. 2

2 — Machines modernes-

L'invention du système à cadres indépendants a donné au problème une solution pratiquement définitive.

Un cadre de développement est schématisé dans la figure 3

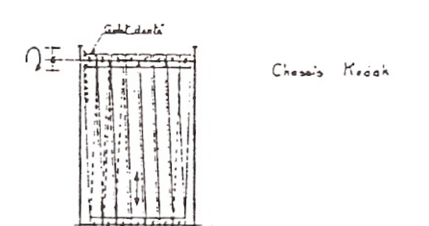


Fig. 3

L'axe supérieur est mis en rotation par l'intermédiaire d'un pignon denté par une chaîne. Sur cet axe supérieur un seul galet reçoit le film et lui communique le mouvement, les autres galets non dentés disposés sur le même axe tournant sur celui-ci avec un frottement minimal.

L'axe inférieur monté sur une coulisse verticale comporte N-1 galets fous (N étant le nombre de galets disposés sur l'axe supérieur, plus le galet denté).

L'axe inférieur monté sur coulisse joue le même rôle que les anciens diabolos lestés et permet un défilement avec une tension suffisante évitant les brins mous.

En disposant, dans une même cuve, plusieurs cadres parallèles, on obtient pour un encombrement réduit une capacité de traitement supérieure (figure 4).

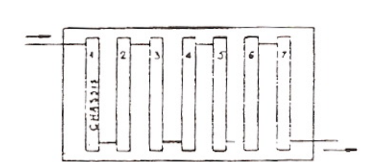


Fig. 4

La pratique a montré qu'il était dangereux jusqu'à présent de dépasser 7 boucles sur un cadre courant, les frottements éprouvés dans cette série de rotation s'accumulant (effet de moufle) et tendant à faire remonter l'axe inférieur qu'il faut alors alourdir, augmentant ainsi dans des proportions alarmantes la traction exercée sur le film.

Cependant, avec les techniques modernes de roulements à billes, inattaquables dans les bains de traitement, procurant un minimum de frottement, on a pu augmenter le nombre de boucles par cadre jusqu'à 10 ou 12, permettant ainsi de réduire encore la longueur des machines.

Exemple : dans une cuve de 80 cm. de long sur 60 cm. de large on peut disposer 8 cadres portant chacun 15 m. de film, soit au total 120 m., qui à la vitesse de défilement de 1500 m./h. correspond à une durée de traitement de plus de 4 min. 30 sec.

3 — Entraînement à friction —

Le système décrit précédemment est simple et économique mais ne permet le passage en machine que d'un seul type de film (sauf avec des galets à gradins et à double denture).

La tendance a donc été de s'affranchir de l'utilisation des perforations pour l'entraînement des films dans les machines à développer, d'autant qu'une machine à galets dentés mal réglée peut occasionner des piqûres des perforations, c'est-à-dire des amorces légères de déchirures sur celles-ci (la vie d'une copie " piquée " est très courte).

Il a donc été mis au point des systèmes d'entraînement sans galets dentés et utilisant uniquement le frottement du film sur des galets tournants, le contact ayant lieu sur toute la surface du film ou simplement sur les bords au niveau des perforations.

En général, la mise en mouvement des galets est simplement obtenu en montant ces galets sur un axe rotatif tournant avec une légère survitesse (6 à 10%) par rapport au défilement du film pour vaincre la résistance opposée par le film à son mouvement à travers la machine (figure 5).

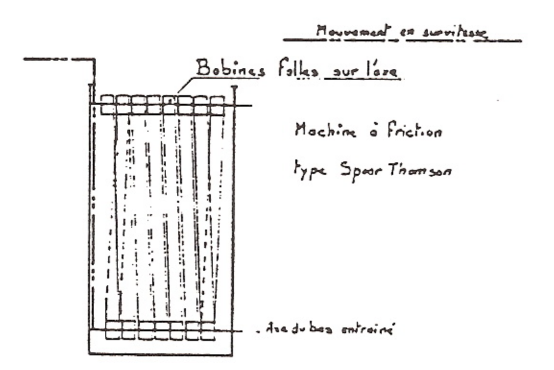


Fig. 5

Les résistances sont de 2 sortes, frottements éventuels des organes d'essorage et résistance opposée par les différents liquides au glissement du film dans ceux-ci à grande vitesse (jusqu'à 50 m/min.)

Une machine conçue de la sorte s'arrête dès que l'adhérence du film sur les galets est nulle c'est-à-dire par défaut de tension du film.

Il faut donc maintenir cette tension, soit par traction à l'aide d'un galet caoutchouté, en sortie de machine, comportant un presseur sans danger pour le film sec. (figure 6).

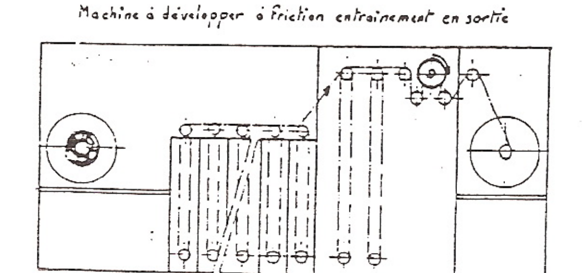


Fig. 6

Une autre conception consiste à avoir un galet caoutchouté de retenue en tête de machine, la bobine d'enroulement du film développé en sortie assurant la traction, et des dispositifs d'asservissement des axes entre eux évitant que les tensions ne s'accroissent trop ou ne s'annulent.

(Système Crabtree de Kodak Rochester - Figure 7).

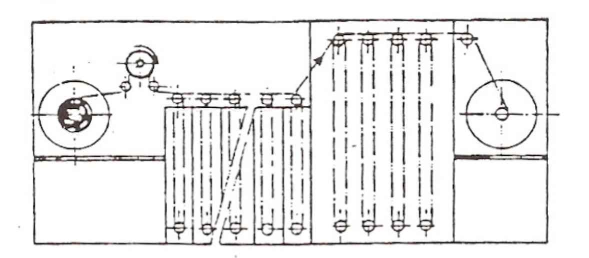


Fig. 7

D'autres systèmes assurant la constance de la tension du film ont été conçus.

- galets supérieurs oscillants qui ne comportent pas d'axe commun, et qui sont amenés en contact avec un rouleau caoutchouté tournant à vitesse constante (survitesse légère de + 6 à + 10 %) lorsque la tension s'accroît.

De cette manière une impulsion est donnée au galet sur lequel la tension excessive se manifeste, une plus grande quantité de film est débitée, la tension diminue alors et le galet oscillant remonte, grâce à l'action d'un ressort de rappel. (figure 8 - Système top-drive)

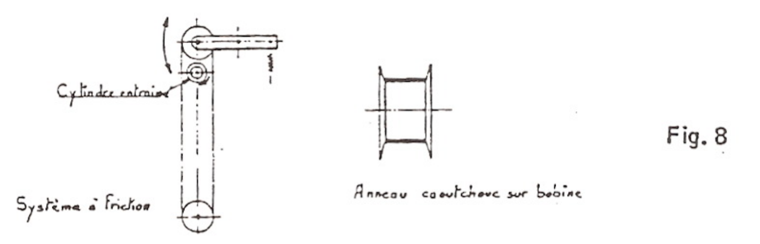


Fig. 8

- un système analogue, mais infiniment plus sûr, utilise un rouleau entraîneur caoutchouté pouvant entraîner des galets oscillants sur la partir inférieure du cadre a été mis au point par la firme Pako, puis repris par Debrie sur ses dernières machines.

L'utilisation de manchons en élastomère comportant des protubérances en forme de petits doigts (galets soft-touch) sur les galets a amélioré considérablement les problèmes de glissement et de frottement sur les galets.

Il est alors possible de traiter en continu et par simple agrafage, sur la même machine des films de formats différents.

- une autre solution a été proposée, par Kodak, pour maintenir la constance de la tension. Il s'agit de galets montés sur un axe pouvant se décentrer (spring-spool) - figure 9.

La liaison entre la bobine et l'axe est assurée par des ressorts plastiques.

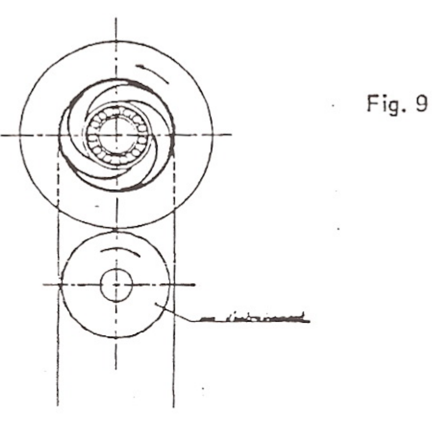


Fig. 9

Lors de l'apparition d'une tension sur un galet, celui-ci se déforme et vient au contact d'un rouleau entraîneur comme dans les cas précédents.

C/ DISPOSITIFS ACCESSOIRES

1 — Traitement de la piste sonore —

C'est une opération extrêmement délicate qui consiste à déposer à l'emplacement de la piste sonore une pâte de redéveloppement permettant de réduire spécifiquement les halogénures d'argent après l'opération de blanchiment d'un traitement couleur.

Le film passe sur un tambour caoutchouté de grand diamètre qu'il met en rotation, celui-ci actionnant à son tour par des engrenages une molette d'empâtage de 2,5 mm. de largeur qui trempe dans un petit bac à niveau constant. Cette molette entraîne à sa périphérie de la pâte visqueuse qu'elle dépose de façon très rectiligne sur le film.

Cette pâte est laissée sur le film pendant environ 15 secondes puis est éliminée par un violent jet d'eau. (figure 10)

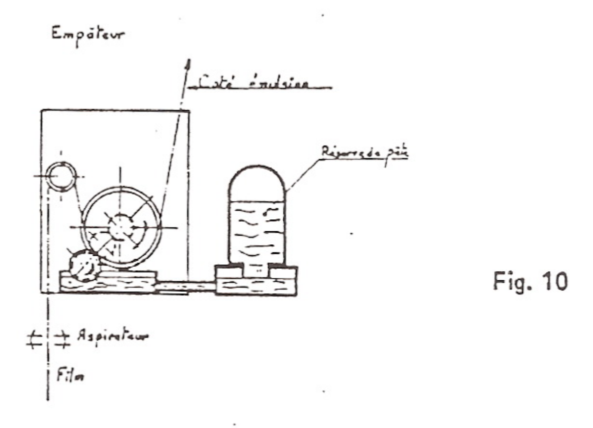


Fig. 10

2 — Réserves d'entrée et de sortie (figure 11)

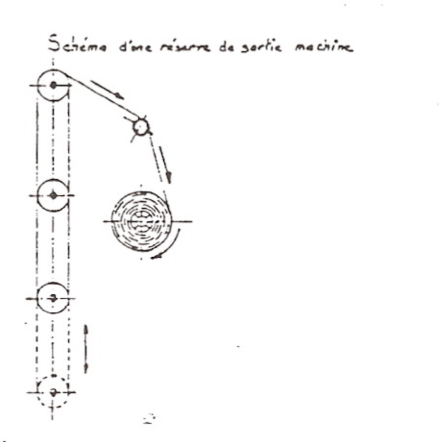


Fig. 11

Les machines fonctionnant de façon continue, il est nécessaire de pouvoir arrêter le défilement du film soit en tête soit en fin de machine (pour le chargement ou pour le développement).

Un seul système est universellement utilisé : un élévateur à plusieurs brins qui est en position basse à l'entrée de la machine, et en position haute en sortie.

En tête de machine, si l'on bloque le bout de film en fin de bobine la traction exercée sur le film soulève la partie inférieure de l'élévateur libérant ainsi la quantité de film dont la machine a besoin durant la période de chargement.

En fin de machine le processus inverse se produit le film excédentaire fourni est absorbé par la partie inférieure de l'élévateur qui redescend.

A titre d'exemple, un élévateur à six boucles dont la hauteur diminue de 2 m., débitera 24 m. de film soit 30 sec. de consommation pour une machine tournant à 2880 m/h.

3 – Cannes à jets : elles permettent d'obtenir une agitation régulière et vigoureuse des solutions de traitement au niveau de la surface du film (figure 12).

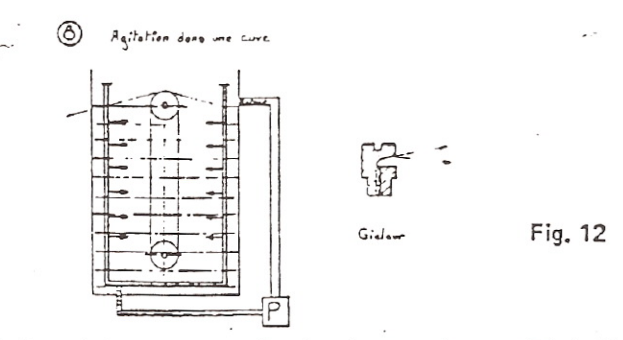


Fig. 12

4 – Essoreurs : ils sont destinés à éliminer de la surface du film la plus grande quantité de liquide de traitement en passant d'une cuve à l'autre pour éviter les contaminations.
Il est possible d'utiliser soit des souffleurs produisant une lame d'air qui refoule le liquide, soit des lèvres de caoutchouc très souples qui raclent la surface du film, soit des aspirateurs qui évacuent le liquide par une canalisation (figure 13).

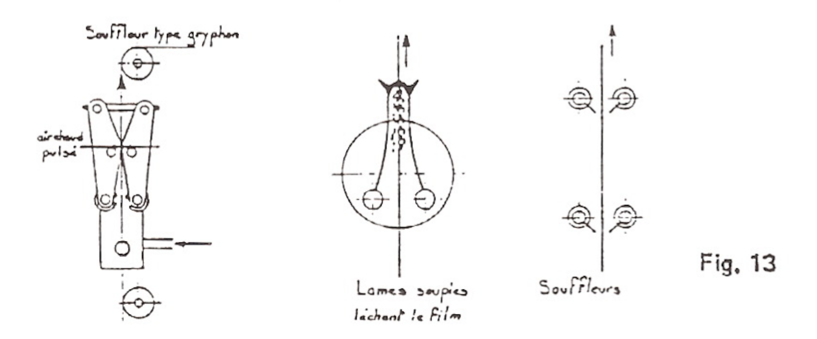


Fig. 13

5 – Contrôle de température : l'action des révélateurs est étroitement dépendante de la température. Celle des bains secondaires l'est également mais dans des limites moins strictes.
La précision pour les révélateurs est de $\pm$ 0,1° C, pour les bains secondaires de 0,5°C et pour les lavages d'environ $\pm$ 3°C
La précision de 0,1°C est obtenue à l'aide de régulateurs agissant sur des échangeurs de température (figure 14) où le fluide destiné à être refroidi ou réchauffé circule dans un serpentin qui baigne dans un récipient permettant un transfert thermique rapide.

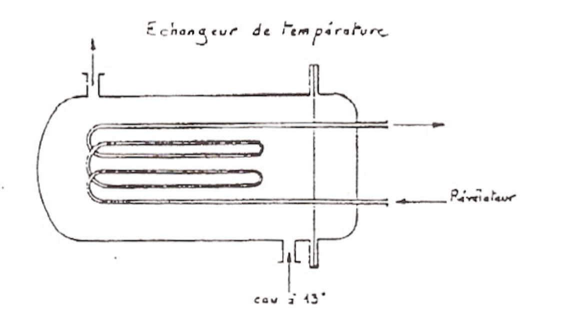


Fig. 14

6 – Armoire de séchage : après un essorage efficace en fin de traitement à la sortie du dernier bain, le film entre dans un compartiment de séchage parcouru par un flux d'air chaud qui va permettre de ramener progressivement la gélatine de l'émulsion à l'état sec.
La figure 15 montre une sécheuse classique à circulation d'air chaud inverse au sens de défilement du film.

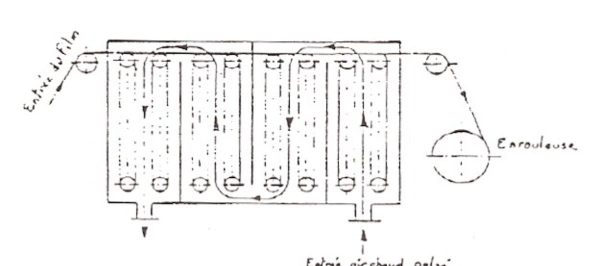


Fig. 15

La figure 16 montre une sécheuse plus moderne où l'air chaud est soufflé à pression plus élevée (environ 150 g/cm2) par des distributeurs perforés disposés à environ 2 cm. entre chaque nappe de film.

L'action de l'air chaud est ainsi beaucoup plus efficace et un positif est ainsi sec en 4 minutes, tandis que la sécheuse classique demande 8 à 10 minutes.

Pour le séchage des négatifs l'air est en général conditionné dans la dernière phase du séchage (26 - 27° C et 65 % H.R) de manière à obtenir une meilleure planéité des éléments développés.

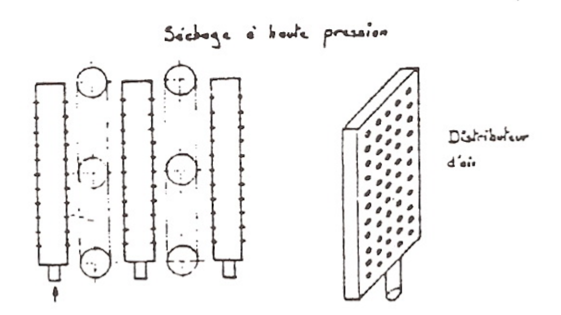


Fig. 16

D/ INSTALLATION D'UNE DEVELOPPEUSE

Ces machines traitant des émulsions sensibles à la lumière, il est nécessaire que le film en cours de traitement soit à l'obscurité complète (négatif) ou en lumière inactinique (positif) jusqu'après le 1er fixage ou le blanchiment.

- la machine entière peut être installée dans une pièce sans fenêtre où un éclairage inactinique à intensité progressive permet une surveillance d'autant plus aisée que le film progresse vers la sortie de la machine.

- la machine est installée dans deux pièces séparées, l'une au noir l'autre toute entière à la lumière du jour, le film passant d'une partie à l'autre par une chicane.

- la machine est toute entière au jour le chargement se fait à l'aide de magasins étanches et les cuves de révélateurs, de bain d'arrêt ... comportent un capotage étanche.

Ce dernier type d'installation rendant le travail du personnel beaucoup plus agréable tend à s'étendre de plus en plus.

E/ MATERIAUX DE CONSTRUCTION

Les produits chimiques utilisés en photographie sont presque tous fortement corrosifs. Les métaux courants sont rapidement attaqués et détruits. De plus en plus les machines à développer sont entièrement construites en matériaux résistant aux diverses corrosions.

- acier inoxydable à haute résistance à forte teneur en molybdène (type Hastelloy) ou titane pour toutes les pièces mécaniques et les cuves pouvant être en contact avec des bains agressifs (bains d'arrêt à très faible pH, blanchiments comportant des agents complexants).

- acier inoxydable ordinaire ou matières plastiques pour les cuves, tôleries et revêtements en contact avec des bains à agressivité modérée (révélateurs, fixages, prébains, stabilisateurs...)

- polychlorure de vinyle (PVC) comportant une charge opacifiante pour la tuyauterie de circulation:

Pour certains types de blanchiment au ferricyanure, il est possible d'utiliser du cuivre pur, ou du laiton ou même du bronze.

Dans le cas de machines à essuyer ou de tireuses à immersion utilisant un solvant chloré l'utilisation du caoutchouc naturel (pour les frettes recouvrant les galets) est à proscrire du fait de sa dégradation ultra-rapide.

Seuls quelques caoutchoucs synthétiques résistent assez bien à ces solvants.

Par ailleurs, il est dangereux de mettre au contact de ces solvants chlorés des métaux tels que l'aluminium, le zinc ou le magnésium, sous risque de réaction explosive.

F/ PRECAUTIONS A OBSERVER LORS DE LA MANIPULATION DES PRODUITS CHIMIQUES

Les produits chimiques utilisés en photographie étant toxiques, de grandes précautions doivent donc être prises pendant leur manipulation:

En tout premier lieu, les révélateurs chromogènes contiennent des développateurs de la famille des paraphenylènediamines (type Gevadiamine, CD2 et CD3) pouvant causer des dermatoses et des eczémas rebelles, bien connus des préparateurs de bains et des développeurs.

Les cuves de préparation devraient donc être sous aspiration afin d'éviter la dispersion de poussières toxiques quelles qu'elles soient.

Par ailleurs, le port de gants de caoutchouc et de lunettes de protection est toujours conseillé sinon imposé.

Dans les machines à développer les cuves contenant des bains acides ou à action tannante (arrêt, faxages, prétannant) comportent souvent un système d'évacuation des vapeurs agressives.

Les solvants chlorés (perchloréthylène, trichloroéthane,...) très utilisés par les laboratoires peuvent causer, par inhalation de vapeurs, des intoxications dont les conséquences peuvent devenir graves et sur lesquelles l'Inspection du Travail a son attention fortement attirée.

L'emploi de ces solvants doit toujours s'accompagner de systèmes d'évacuation efficaces. Malgré ceux-ci il existe toujours dans les locaux où sont manipulés ces solvants une odeur très caractéristique du fait de leur extrême volatilité, le personnel travaillant dans ces locaux est donc soumis à des examens médicaux annuels préventifs.

G/ TIREUSES

Deux façons peuvent être envisagées pour la conception d'une tireuse.

- le film est considéré comme une succession d'images indépendantes qui doivent être tirées successivement et cela conduit à la tireuse image par image ou tireuse alternative.

- le film est considéré comme une bande sans se préoccuper ni des images différentes ni de la barre de cadrage entre elles et cela conduit à la tireuse dite continue.

1 — Tireuses alternatives —

Les films négatif et positif sont entraînés ensemble par un mouvement alternatif à griffes les déplaçant chaque fois de la hauteur d'une image.

Un mécanisme soulève le presseur pour laisser glisser les films et le fait retomber pour un contact parfait lors de leur arrêt devant la fenêtre de tirage.

Dans la platine les films sont guidés à gauche par une glissière fixe et à droite par une glissière mobile poussée par deux petits ressorts (figure 17).

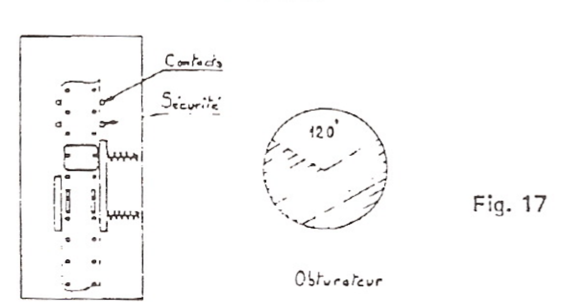


Fig. 17

Deux contacts successifs mobiles latéraux détectent les encoches du négatif pour actionner le variateur de lumière, le second étan une sécurité arrêtant la machine lorsque le premier contact, par hasard, n'a pas déclanché le variateur.

Une lampe de tirage éclaire la fenêtre de tirage et un obturateur circulaire, ouvert à 120°, coupe l'illumination de la fenêtre pend la descente d'une image des deux films se mouvant ensemble.

La machine est complétée par deux débiteurs dentés tournant d'un mouvement continu (entre deux boucles permettant le passage du mouvement alternatif au continu) et servant l'un à débiter les films enroulés sur les bobines supérieures, l'autre à retenir les films qui sont tirés par les bobines réceptrices à frictions.

a/ - Changements de lumière

Dans les anciennes tireuses noir et blanc type Debrie la gamme comportait 20 lumières différentes obtenues par variation du voltage d'alimentation de la lampe obtenue par insertion de résistances croissantes.

Ensuite le changement de lumière par résistance a été remplacé par le changement de lumière à diaphragme, utilisant une bande opaque aux dimensions d'un film 35 mm. et dans laquelle on peut pratiquer des trous (à l'aide d'un emporte-pièce) de diamètre variant en progression géométrique depuis 5 mm. jusqu'à un maximum de 20 mm.

Un dispositif mécanique approprié actionné par le passage de l'encoche fait brutalement remplacer un trou par un autre pendant la fermeture de l'obturateur, modulant ainsi l'intensité de la lumière frappant le positif à travers le négatif.

Très rapidement on s'est aperçu que l'utilisation des petits diaphragmes rendait l'illumination du positif trop faible sur les bords de l'image.

Il a alors été décidé de perforer au diamètre maximum et de fixer des densités neutres à l'aide d'agrafes, facilitant ainsi la transition pour la réalisation des bandes de correction en système couleur soustractif.

b/ - Tirage du son

L'apparition du son vers les années 28-29 est venu bouleverser l'équilibre de la tireuse alternative.

La piste sonore est en effet un enregistrement continu des vibrations sonores et ne peut donc s'accomoder d'un tirage alternatif. Il a donc été nécessaire d'ajouter une petite tireuse continue spécialisée au tirage du son.

Une fente de tirage de la largeur de la piste est pratiquée dans un tube creux à l'intérieur duquel se trouve une petite lampe de 15-20 W. Les films négatif et positif sont appliqués sur ce tube à l'aide d'un presseur rotatif en caoutchouc et guidés latéralement par un système de glissières circulaires.

La machine a été complétée, lors de la venue de la couleur, d'un dispositif automatique faisant avancer d'un trou la bande cache toutes les deux images, permettant ainsi le tirage étalonné de la bande " chenille " de 2 images négatives.

Ces tireuses alternatives ont équipé le monde entier depuis 1920 - Peu de modifications y ont été apportées preuve de l'excellence du système.

Les points importants de la maintenance sont le polissage des platines et fenêtres pour éviter les rayures, le bon état des ressorts du presseur et la qualité des contacts mobiles actionnant le changement de lumière.

2 - Tireuses continues —

Ce type de machine est celui qui est envisagé naturellement pour tirer de grandes longueurs de film.

Le négatif et le positif défilent devant une fenêtre transversale de faible hauteur uniformément éclairée.

Si le mouvement du film est d'une parfaite régularité, si le contact des films est bien assuré au niveau de la fenêtre et s'il n'existe pas de glissement relatif des deux films (qualité primordiale) la tireuse la plus simple est réalisée.

Ce genre de tireuse a été perfectionné, entre autres, par la firme Bell et Howell (figure 18)

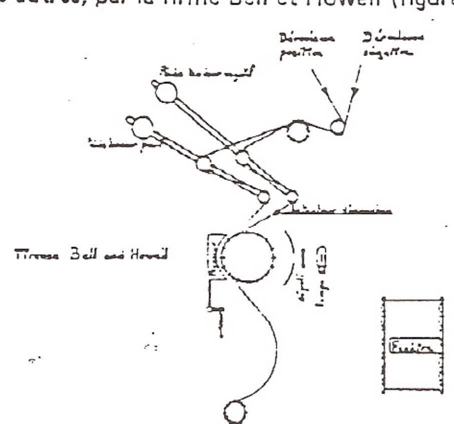


Fig. 18

Elle est constituée de la manière suivante :

- 1 débiteur denté de grand diamètre (96 mm.) composé de deux flancs portant des dents (le volume intérieur étant libre) supporte les deux films, le négatif étant à l'intérieur, qui sont appuyés légèrement sur la circonférence extérieure grâce à un presseur réglable.

La fenêtre d'une hauteur d'environ 8 mm. est située entre les flancs du débiteur, une lampe étant placée en arrière, ses rayons venant frapper un verre dépoli qui peut être partiellement obturé par des caches mobiles.

Le débiteur est mû par le moteur principal et sa vitesse régularisée par un volant assez lourd monté sur son axe.

Pour éviter un glissement variable des deux films entre eux, deux bras tendeurs (à contre poids ou à ressort) tendent chacun les deux films entre le tambour de tirage et le galet débiteur supérieur d'alimentation.

Un débiteur reprend les deux films ensemble après une boucle et supporte la traction des deux bobines réceptrices.

Le changement de lumière pour les tireuses continues noir et blanc n'est pas automatique et nécessite l'intervention de l'opératrice avant chaque encoche (en avance de 6 images sur la collure).

Ces machines possédant le grand avantage de ne créer aucun contact sur le négatif au niveau de l'image, d'où durée de vie beaucoup plus longue des éléments à tirer et propreté supérieure.

La piste son est tirée sur une machine identique munie d'une fenêtre spéciale

3 — Tireuses couleur continues additives —

La tireuse Bell et Howell a été complètement redessinée vers les années 60 en même temps qu'elle était dotée d'une lanterne à variation de lumière additive (figure 19).

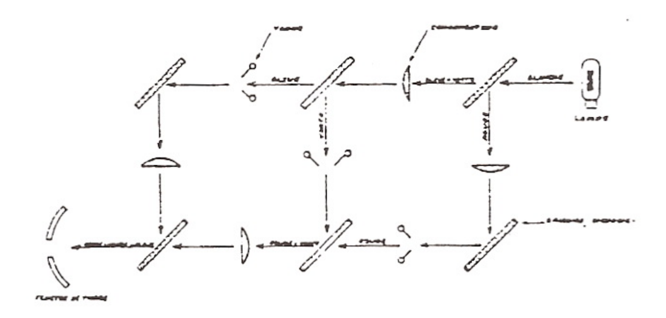


Fig. 19

TÊTE ADDITIVE BELL & HOWELL

Les trois faisceaux bleu, vert et rouge sont obtenus par l'intermédiaire de trois miroirs dichroïques sélectionnant chacun une partie du spectre visible.

Sur le chemin optique de chacun des trois faisceaux se trouve placé une " vanne de lumière " modulant l'intensité de chaque composante lumineuse bleue verte ou rouge disponible au niveau de la fenêtre de tirage.

a/ - La vanne de lumière

Elle est commandée par six informations principales simples enregistrées sur une bande perforée (figure 20).

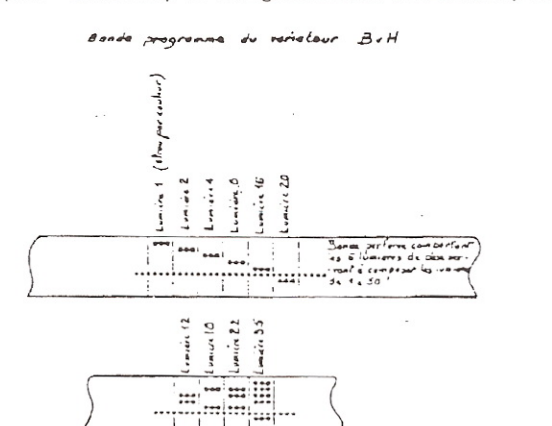


Fig. 20

information	1	2	3	4	5	6
lumière	1	2	4	8	16	20

Les diverses combinaisons des 6 informations entre elles permettent d'obtenir la sélection de l'une des 50 lumières disponibles sur une tireuse continue moderne.

Exemple : lumière 12 = lumières 8 + 4 = perforations 3 + 4 .

lumière 35 = lumières 1 + 2 + 4 + 8 + 20 = perforations 1 + 2 + 3 + 4 + 6

ceci étant réalisable pour chacun des trois faisceaux bleu, vert et rouge.

La réalisation de la bande perforée se fait facilement grâce à une perforatrice automatique comportant 50 touches et 3 sélecteurs B, V et R.

La mécanique de la vanne est donc conçue comme une petite machine à additionner capable de communiquer aux volets obturateurs le déplacement correspondant à la gamme enregistrée sur la bande perforée.

D'une manière simplifiée, la vanne comporte six coulisses parallèles pouvant être abaissées très rapidement grâce à six électro-aimants indépendants recevant chacun un signal électrique émis par le lecteur lors du décodage de la bande perforée.

L'abaissement d'une des coulisses, repousse d'une longueur déterminée toutes les autres coulisses situées à sa droite.

Par exemple : l'abaissement de la coulisse N° 4 (actionnée par le trou situé en position 4 sur la bande perforée - lumière 8) va repousser seulement les coulisses N° 5 et N° 6).

Les six coulisses jouent ainsi les unes sur les autres, de sorte que, étant en butée fixe d'un côté, leurs mouvements s'additionnent entre eux pour donner un déplacement (somme des déplacements individuels) à un poussoir terminal, qui par un mouvement de transmission va provoquer la rotation d'un angle donné du volet obturateur, de telle manière que les variations de lumière (en progression géométrique) reproduisent fidèlement l'échelle des impulsions reçues.

La tireuse défilant à plus de 3.000 m/h. il faut que les changements de lumière soient instantanés pour éviter des " bavures " d'une scène à l'autre.

La valeur suivante est donc présélectionnée pendant que la scène en cours se déroule. Le signal de changement amènera donc brutalement le volet en position requise. Pour cela, après chaque impulsion, les volets sont libérés mais restent en place par l'action d'un frein, l'impulsion suivante les amenant en position selon la valeur de lumière mise en mémoire.

b/ - **Le trimmer** : C'est un aménagement simple et ingénieux qui permet de déplacer la butée sur laquelle s'appuyent les coulisses mobiles.

Il est gradué en 24 positions représentant chacune la valeur d'une lumière.

L'action du trimmer peut être comparée à celle du préfiltre dans une tireuse soustractive, permettant ainsi d'apporter des corrections (réglage d'émulsion ou de tireuse) sans interférer sur la valeur propre des lumières inscrites sur la bande perforée.

Le trimmer a de plus, l'avantage de n'apporter aucune absorption lumineuse complémentaire ce qui n'est pas le cas des préfiltres.

L'introduction du système de tirage par variation de lumière additive a apporté à la technique des laboratoires une simplicité, une universalité et une constance des résultats impensables auparavant.

c/ - **Tirage du son** : Sur les tireuses du type Bell et Howell le son est tiré sur un organe identique à celui de l'image. Le défilement y est presque parfait du fait de l'absence de mouvement alternatif dans la machine.

4 — **Tireuses alternatives par réduction** (figure 21)

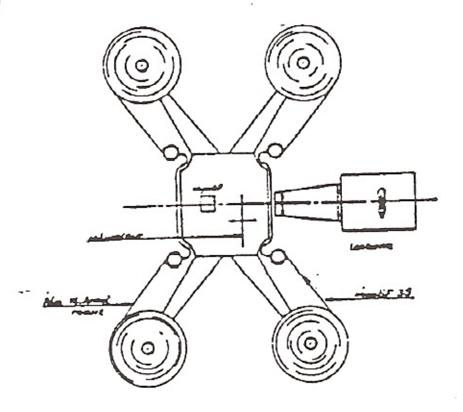


Fig. 21

Schéma d'une tireuse à réduction image

Ce sont des machines de tirage à système optique, destinées à obtenir des copies dans un format autre que celui des éléments originaux (16 mm.) à partir de 35 mm. ou de copies Super 8 à partir de 16 mm. ou de 35 mm.)

Le négatif à réduire défile image par image dans une tête de tireuse conventionnelle et un positif adapté reçoit le faisceau qui émerge de la fenêtre et le dirige sur le film de format réduit qui défile obligatoirement de manière synchrone dans une autre tête de tireuse (ou dans une caméra).

L'image négative 35 mm. est de dimension 16 x 22 mm. (soit le rapport 0,727) tandis que l'image 16 mm. est de dimension 7,60 x 10,25 mm. (soit le rapport 0,741).

Si l'on veut donc conserver le cadrage horizontal de l'image 35 mm., le cadrage vertical ne couvrira pas la hauteur disponible en 16 mm. faisant ainsi apparaître une petite marge noire.

En application du principe du retour inverse de la lumière, une tireuse par réduction peut être convertie en tireuse par agrandissement (gonflage) en plaçant la source de lumière du côté du film de format réduit.

5 — **Tireuses continues par réduction** —.

Dans le cas de réduction d'une image 16 mm. en Super 8 le rapport hauteur/largeur est conservé et il est donc possible d'effectuer une opération de réduction en continu. Il suffit de faire défiler le négatif devant une fente éclairée et de reprendre cette image de fente par un objectif pour le diriger sur le film format Super 8 (qui peut être 16 - 2 x S 8 ou 35 - 4 x S 8) qui défile de manière absolument régulière et dans un rapport de vitesses identique au rapport de réduction donné par l'objectif.

Cette double exigence a pu être satisfaite en calant les débiteurs 16 et Super 8 sur un même axe. De cette manière il ne peut y avoir de mouvements irréguliers d'un film par rapport à l'autre, mais le système réducteur devient nettement plus compliqué (figure 22).

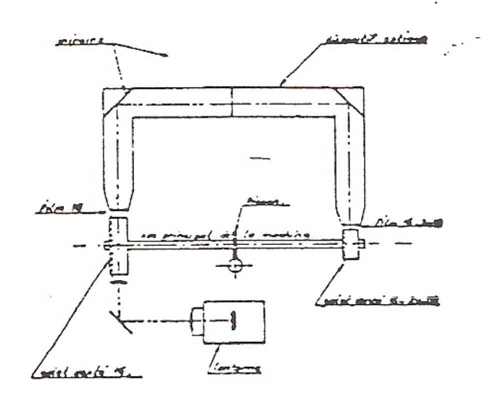


Fig. 22

Schéma d'une tireuse à réduction continue

Le défaut principal des tirages optiques quels qu'ils soient, est l'intervention d'un système optique qui forme des faisceaux lumineux du type lumière dirigée, qui produit toujours une image nette des défauts physiques (rayures et abrasions) et des poussières se présentent sur le négatif.
Ces défauts peuvent être minimisés par le tirage contact où l'éclairement de l'image peut avoir lieu en lumière diffuse.

Le tirage par réduction (ou agrandissement) d'un négatif usagé devient très vite inacceptable par augmentation rédhibitoire des points blancs et des rayures.

6 — Tirage par immersion (tirage humide)

Ce procédé consiste, d'une manière simplifiée, à recouvrir les deux faces du film d'une mince couche de liquide (au niveau de la fenêtre de tirage) ayant un indice de réfraction voisin de celui du support et de celui de la gélatine. Le liquide remplissant les rayures et les abrasions empêche la réfraction de la lumière à leur niveau et évite ainsi leur mise en évidence excessive.

C'est vraisemblablement la Société Technicolor la première, qui a été obligée en 1957 de recourir à ce procédé pour le tirage des matrices toujours effectué par voie optique (figure 23).

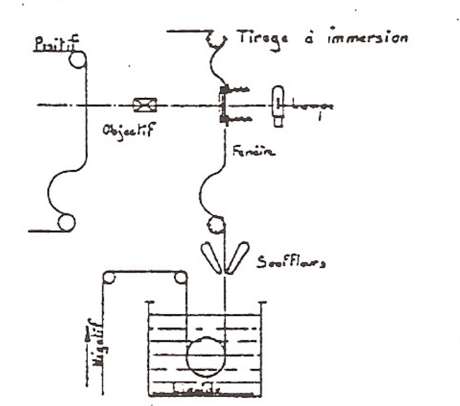


Fig. 23

Le liquide utilisé pour le tirage par immersion est en général du perchloréthylène, d'incide de réfraction souhaité, et dont la volatilité permet une élimination rapide par simple soufflage sans laisser de trace sur le négatif.

La réalisation d'un mince film de liquide est réalisé dans la méthode Technicolor, grâce à deux souffleurs dont la pression et le débit d'air sont extrêmement bien contrôlés.

Dans la variante de la Société Debrie, le film passe au niveau de la fenêtre de tirage entre deux glaces à faces parallèles très rapprochées (figure 24).

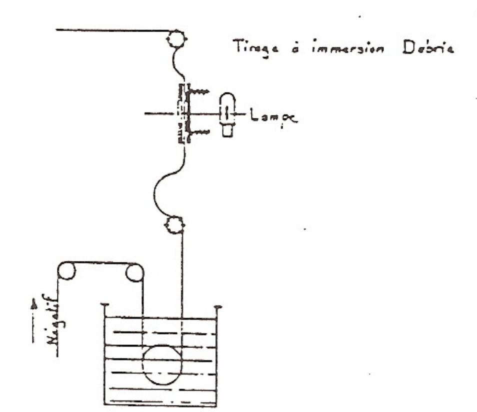


Fig. 24

La solution adoptée par le laboratoire Tirage 16 comporte un essorage par deux séries de tampons recouverts d'un velours.

Ces procédés sont efficaces mais créent de nombreuses malfaçons : Zônes, bulles d'air aux collures, etc...

En outre la toxicité du liquide impose de très sérieuses précautions d'emploi.

solution idéale existe sur quelques tireuses optiques en fonctionnement aux Studios Walt Disney à Glendale en Californie. La tête de tireuse entière est immergée dans le perchloréthylène réalisant ainsi une couverture sans défaut de l'élément à tirer. La vitesse de tirage ne peut cependant excéder 2 à 3 images/sec. ce qui ne correspond pas aux impératifs de grande production ais seulement aux besoins de trucages ou de tirage d'éléments isolés.

La Société Dassonville a également réalisé un système de tirage contact par immersion où l'organe de tirage continu du son et lui de l'image sont entièrement immergés dans le perchloréthylène, ce qui conduit à un fonctionnement sûr, sans fuites de quide, zônes ou défauts variés. (figure 25).

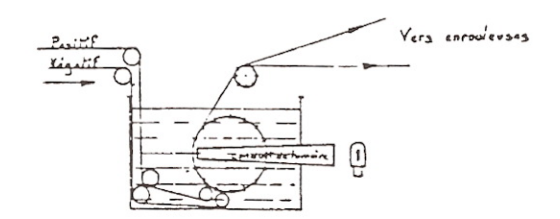


Fig. 25

Des essais sont actuellement effectués par la firme Debrie pour la réalisation d'une tireuse continue par réduction (16 mm. 6 mm. 35 - 4 x S 8) dont la partie 16 mm. et la première lentille du système optique et le barreau de verre amenant la umière à la fenêtre de tirage sont complètement immergés.

ette machine pourrait, après mise au point définitive, apporter une solution vraisemblablement définitive à certains problèmes e tirage par immersion.

7 — Tireuses à effets spéciaux (figure 26)

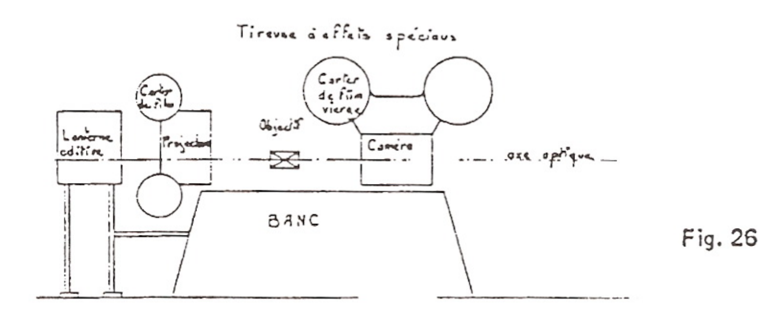


Fig. 26

Ce sont des tireuses optiques, souvent appelées TRUCA, très semblables aux machines déjà décrites pour le tirage par réduction (ou par agrandissement).

Une telle machine est composée d'une tête de tireuse, d'un objectif pouvant être déplacé dans tous les sens et d'une caméra de prise de vues.

L'organe de base équipant tête de tireuse et caméra est le batteur ACME dont le rôle fondamental est de permettre le mouvement alternatif du film pas à pas, et le repérage à l'arrêt avec une précision absolue, conditions essentielles d'une bonne et durable fixité d'images pouvant se surimpressionner.

Dans une tireuse à effets spéciaux tout est mobile et ajustable :

- la caméra se déplace horizontalement le long d'une glissière micrométrique et peut même tourner autour de l'axe de l'objectif.

- l'objectif peut être déplacé dans les trois dimensions le long de glissières appropriées et son support peut glisser horizontalement pour réaliser les agrandissements et les réductions.

- la vitesse de la machine peut varier de 1 à plus de 10 images/seconde le mécanisme peut être actionné de façon continue ou image par image.

- un dispositif fixé sur la machine permet de ne tirer si besoin est, qu'une image sur deux (sur trois ou même quatre) du film chargé en tireuse.

- la machine pouvant être équipée d'un système de tirage par immersion, d'une lanterne additive et d'un lecteur de bande programme peut être considérée comme un matériel universel à condition d'être servie par un opérateur habile connaissant toutes ses multiples possibilités.

De nouvelles machines possédant deux ou trois têtes de projecteur - tireuse qui permettent la réalisation de trucages composés sont apparues récemment sur le marché. Il en résulte une amélioration de la qualité image par réduction, du nombre d'internégatifs successifs nécessaires.

H — MACHINES A ESSUYER

Jusqu'aux années 50 le nettoyage des éléments de tirage était toujours effectué à la main. Il est maintenant réalisé par des machines automatiques où le film circule dans un solvant organique (en général du trichloroéthane) qui dissout les taches et empreintes et entraîne les moindres traces de poussières se trouvant sur la pellicule.

Il existe deux types d'appareillage :

- les machines à rouleaux (figure 27) où le film est frotté par une succession de galets garnis de velours plongés dans le solvant et tournant très vite dans le sens inverse du mouvement du film.

- les machines à ultra-sons (figure 28) dans lesquelles le film ne subit aucune action mécanique sinon celle provoquée par une violente turbulence du liquide créée par des émetteurs à ultra-sons immergés (succession de violentes pressions et dépressions à la surface du film qui chassent les graisses et les poussières).

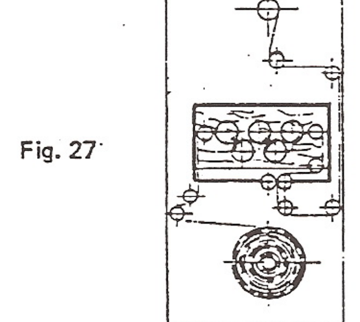


Fig. 27

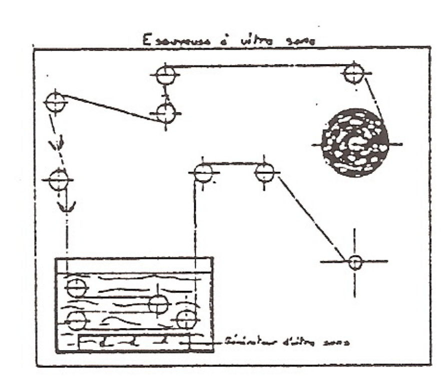


Fig. 28

Les machines du premier type produisent un nettoyage parfait mais avec le risque de rayures si une poussière abrasive vient se fixer sur l'un des velours.

Les machines du second type ne présentent pas ce genre de risque mais sont peut être légèrement moins efficaces vis-à-vis du crayon gras par exemple.

L'utilisation de solvants chlorés dans ces machines impose des conditions strictes quant à l'aspiration des vapeurs pour éviter qu'elles ne s'infiltrent dans la salle de travail.

Ces solvants étant à la fois chers et toxiques, il est économiquement et écologiquement intéressant de les récupérer à l'aide de petites installations de distillation prévues à cet effet, les vapeurs de solvant étant collectées à partir des différentes machines à essuyer et dirigées vers l'unité de récupération.

I — COUPE DES FILMS

Les films de format réduit sont souvent tirés sur des supports plus larges regroupant 2 ou 4 films réduits (32 mm. - 2 x 16 mm. 35 mm. - 2 x 16 mm., 16 mm - 2 x Super 8, 35 mm. - 4 x Super 8)

Les films développés et vérifiés doivent donc nécessairement être coupés à la largeur d'utilisation.

Les machines à couper ont toujours donné beaucoup de tracas aux techniciens des laboratoires :

- irrégularité de coupe
- tolérances sur les largeurs difficiles à respecter
- entretien fastidieux des couteaux et contre couteaux en acier fondu.

Récemment un nouveau type de coupeuse a été introduit sur le marché. Sur ce matériel très précis, chaque opération de coupe est conduite successivement sur des couteaux séparés (disques tranchants en carbure de tungstène peu sensible à l'usure) - (figure 29)

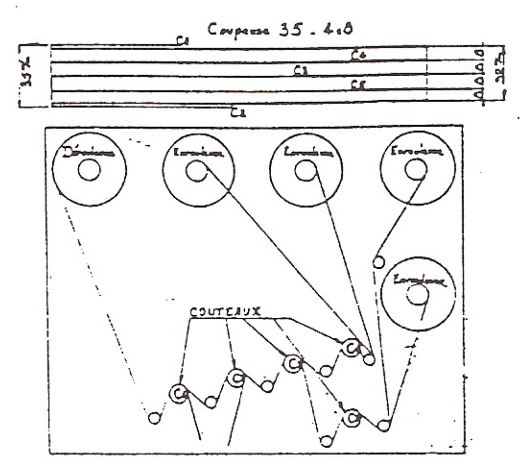


Fig. 29

Le repérage de la coupe a lieu, avec cette machine, par rapport aux perforations du film et non plus par rapport aux bords. Le film 35 - 4 x S 8 est d'abord amené à une largeur de 32 mm. par les coupes successives des bords intérieur (couteau 1) et extérieur (couteau 2), puis est coupé en deux films 16 mm. (couteau 3) chacun de ces deux films 16 mm. étant coupé en deux films Super 8 (couteaux 4 et 5).

Grâce au guidage par les perforations les normes de coupe sont respectées, et l'utilisation de carbure de tungstène pour la fabrication des couteaux permet également de couper dans la piste magnétique déposée avant la coupe.

IV – CONCLUSION

AVENIR DU LABORATOIRE

En guise de conclusion, nous pensons souhaitable d'ajouter quelques mots sur l'avenir prévisible du Laboratoire.

Sans qu'il veuille jouer les prophètes, un certain nombre de tendances se révèlent cependant à l'observateur.

1) - Il semble que le nombre de films tournés ne doive augmenter que peu ou pas du tout. Mais l'exploitation se transforme, avec un besoin plus grand en copies 35 mm. disponibles peu après la sortie du film. Peut-être, les considérations de prix de revient de l'exploitation en salles moyennes amèneront elles les exploitants à équiper ces salles de projecteurs 16 mm. professionnels. Le nombre de copies 35 mm. tirées d'un même film diminuerait mais cette diminution serait compensée, et sans doute au-delà, par un nombre assez important de copies 16 mm. dont la qualité est encore susceptible d'amélioration notable.

2) - Le tournage en 16 mm. est appelé à se développer grandement, surtout pour le film industriel. A l'image des Etats-Unis, et avec le retard habituel dû aux conditions françaises, les industries se tournent de plus en plus vers le film pour satisfaire ses besoins croissants en formation du personnel, instruction des revendeurs, publicité, etc...

Nul doute qu'en quelques années l'utilisation du 16 mm. doublera par rapport au niveau actuel.

3) - Le Super 8, malgré les publicités à grand fracas pour les procédés révolutionnaires (vidéocassettes en particulier) est en pleine croissance. Le taux d'accroissement annuel de l'emploi du Super 8 est de 15 à 20 % et la tendance est à l'utilisation très fréquente de la couleur et du film sonore à piste magnétique ou optique.

Les projecteurs deviendront dans les années proches à chargement de plus en plus réellement automatique ; l'utilisation de la cassette, c'est-à-dire d'un étui enfermant la copie et permettant un changement et une interruption de la projection aisés se généralisera. Enfin, lorsque l'Education Nationale aura enfin trouvé un projecteur Super 8 répondant aux exigences de son cahier des charges, elle ouvrira un marché considérable par la généralisation progressive de l'enseignement par le film.

Il est donc possible que les prochaines années voient coexister à côté du Super 8 des appareils concurrents fonctionnant avec des videodisques ou même d'autres nouveautés encore plus sophistiquées. Ces appareils ne pourront avoir l'utilisation universelle du Super 8 que lorsqu'ils seront normalisés, ce qui semble assez utopique.

L'avenir de la profession cinématographique nous paraît donc assuré. C'est une profession dans laquelle les jeunes peuvent encore se lancer avec confiance, et où ils seront les bienvenus.

De plus le format cinémascope est évidemment incompatible avec l'écran presque carré de la projection ou de la T.V. Pour l'exploitation en 16 mm. il a donc fallu construire les tireuses optiques permettant de sélectionner dans l'image anamorphosée la zône de plus grand intérêt en supprimant les bords droit et gauche de l'image. Le passage par un inter-négatif cause alors une perte de qualité physique à laquelle vient s'ajouter une perte de qualité artistique du fait de la suppression d'une partie de l'action du film ou de ses décors.

3 — ECRAN LARGE

Tous les inconvénients ajoutés au prix de revient élevé des prises de vues et des copies en Cinémascope ont conduit à trouver un compromis donnant un écran de dimensions convenables sans l'intervention de techniques spéciales.

On est ainsi arrivé au format 1,66 dit " Ecran large " où les prises de vues peuvent être assurées par des objectifs sphériques normaux d'un cache limitant la hauteur utile dans la fenêtre de la caméra.

La projection est alors assurée par un objectif normal mais de plus courte distance focale permettant d'obtenir par un plus fort agrandissement une hauteur d'image normale en même temps qu'une dimension horizontale accrue dans le rapport $\frac{1,66}{1,33}$ soit un champ horizontalement accru de 25 %.

Grâce aux efforts de la C.S.T. ce format a pu être adopté presque universellement. Les améliorations apportées par ailleurs aux émulsions négatives et positives permettent à l'heure actuelle des projections d'excellente qualité sur de tels " écrans larges " dans des conditions d'observation qui se rapprochent plus, pour le spectateur, de la vision humaine panoramique.

4 — FORMAT 70 mm. (figure 31)

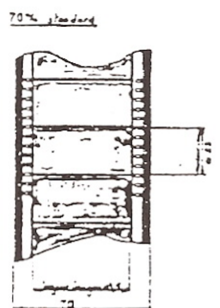


Fig. 31

Pour apporter au spectateur un spectacle de plus en plus grandiose, les américains ont utilisé la projection de film au format 70 mm.

La prise de vues est effectuée sur un négatif 65 mm.

Ce format de grand luxe permet avec un agrandissement moindre à la projection d'obtenir à l'écran une image d'excellente netteté avec l'effet panoramique du Cinémascope.

Le format de 70 mm. permet également de disposer de la place nécessaire pour loger 4 et même 6 pistes magnétiques plus larges assurant une meilleure reproduction sonore qu'avec le procédé Cinémascope.

Cet ensemble extrêmement coûteux (couchage des pistes magnétiques, surface de pellicule triple de celle de 35 mm. frais de laboratoire très élevés, etc...) est tributaire des mêmes inconvénients que le système Cinémascope lors de l'exploitation dans le système normal 35 mm.

Ce format est maintenant pratiquement abandonné, même aux U.S.A., compte tenu des énormes devis de production et d'exploitation.

5 — CINERAMA

Un autre procédé de tournage a été utilisé aux U.S.A. par la firme Cinérama (Inventeur Fred Waller en 1952).
Ce système est basé sur l'utilisation de trois films conjugués tournés par 3 caméras synchronisées montées sur un bati rigide chacune étant centrée sur 1/3 du champ à explorer.
la projection est assurée par 3 projecteurs synchronisés et réglés de telle manière que le bord d'une image se juxtapose parfaitement avec le bord de l'autre, restituant ainsi l'intégralité de la scène tournée.

Le son enregistré sur une bande magnétique synchrone à plusieurs pistes est lu sur un défileur asservi aux projecteurs.

Il faut évidemment qu'à leur point de jonction les images se fondent en quelque sorte l'une dans l'autre (cache de quelques dixièmes de mm. se mouvant très rapidement sur les bords latéraux des fenêtres de projecteur pour Cinérama, et voile progressif sur le bord des copies pour Kinopanorama).